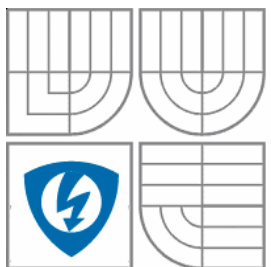


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

SYSTÉM ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ BEZDRÁTOVOU KOMUNIKAČNÍ SÍŤ

LIGHTING CONTROL SYSTEM USING A WIRELESS COMMUNICATION NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
SEMESTRAL PROJECT

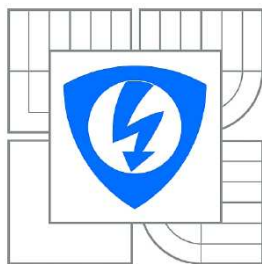
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Vladimír Levek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Radek Kuchta, Ph.D.

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Vladimír Levek

ID: 73104

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Systém řízení osvětlení využívající bezdrátovou komunikační síť

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a vytvořte bezdrátový systém pro ovládání elektrických zařízení v místnosti. Umožněte řízení osvětlení z několika míst současně, včetně možnosti stmívání, zároveň navrhněte bezdrátově ovládanou zásuvku. Systém doplňte o možnost snímání teploty v ovládaných místech. Umožněte centrální řízení z řídicího uzlu, který umožní ovládání všech zapojených zařízení. Při řešení využijte možností bezdrátové komunikační platformy IQRf. Veškeré zdrojové kódy a kompletní dokumentaci odevzdejte jako přílohu závěrečné práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Radek Kuchta, Ph.D.

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zaměřuje na popis, návrh a vytvoření bezdrátového systému pro řízení osvětlení. Součástí práce je vytvoření komunikačních modulů pro spínání osvětlení a vytvoření jejich obslužných programů. V úvodu práce je stručně popsána problematika řízení osvětlení a obecné požadavky na řízení inteligentního domu. Dále je stručně popsána bezdrátová komunikační platforma IQRF, která slouží jako platforma pro tento systém. V další části diplomové práce jsou popsány jednotlivé moduly jak po obvodové stránce, tak z hlediska programového vybavení. Součástí této práce je i popis protokolu datového přenosu. V příloze je uveden výpis všech programů obsluhujících provoz systému bezdrátového řízení osvětlení.

Abstract

The aim of this thesis is to create and describe the wireless system for lighting control. A part of the work is the creation of modules for switching lighting and the creation of their operating programs. The first chapter briefly describes the way how the lighting control works and contains general requirements for the intelligent home. Further, there is a description of IQRF system, which serves as a wireless platform for the system. Next part of the thesis describes individual modules in terms of hardware and software. One part of the work covers the description of the transmission protocol. The attachment includes a listing of all operating programs for this wireless control system.

Klíčová slova

Inteligentní dům, Bezdrátový systém, IQRF, Topologie, Platforma, Operační systém, Přijímač, Vysílač, Modul, Vstupní expandér, Výstupní expandér, Mikrokontrolér, Koordinátor, Uzel, Komunikační protokol.

Keywords

Intelligent home, Wireless system, IQRF, Topology, Basis, Operating system, Receiver, Transceiver, Module, Input expander, Output expander, Microprocessor, Coordinator, Node, Communication protocol.

Bibliografická citace

LEVEK, V. *Systém řízení osvětlení využívající bezdrátovou komunikační síť*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Kuchta, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma **Systém řízení osvětlení využívající bezdrátovou komunikační síť** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Kuchtovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

SEZNAM ZKRATEK

ASK	Amplitude-Shift Keying, modulace s amplitudovým klíčováním
CC5X	překladač jazyka C pro mikrokontroléry PIC
CK-USB-02	vývojový prostředek IQRF
C++Builder	vývojový nástroj jazyka C++
DK-EVAL-03	vývojový prostředek IQRF
DPS	deska plošného spoje
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor, grafický editor DPS
IQMESH	síťová komunikace IQRF
IQRF	platforma bezdrátového systému
IQRF_IDE	aplikace pro programování IQRF modulů
IQRF_PC	program pro obsluhu bezdrátového řízení osvětlení
IN-EXP	program ve vstupním expandéru
OM1	výstupní modul s jedním výstupem - DPS
OM2	výstupní modul se dvěma výstupy - DPS
OS	operační systém
OUT-EXP	program ve výstupním expandéru
OUT-ZAS	program v zásuvkovém modulu
OutModul2	program v modulu OM2
PC	Personal Computer, osobní počítač
PSK	Phase-Shift Keying, modulace s fázovým klíčováním
RF	radiofrekvenční, bezdrátové
RJ	řídící jednotka
RJ-C	program v řídící jednotce
SMD	Surface Mount Device, součástka pro povrchovou montáž
SPA	spínací profil A
SPB	spínací profil B
SPI	Serial Peripheral Interface, sběrnice
TR-52BA	komunikační modul IQRF
USB	Universal Serial Bus, sběrnice

OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	DOMÁCÍ A KANCELÁŘSKÁ AUTOMATIZACE.....	9
2.1	POPIS MOŽNOSTÍ INTELIGENTNÍHO DOMU.....	9
2.2	PROBLEMATIKA BEZDRÁTOVÉHO ŘEŠENÍ.....	11
2.3	BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKAČNÍ PLATFORMA IQRF.....	12
2.3.1	<i>Popis bezdrátové komunikační platformy IQRF.....</i>	<i>12</i>
2.3.2	<i>Moduly bezdrátové komunikační platformy IQRF.....</i>	<i>13</i>
2.4	ROZBOR ELEKTRICKÝCH VELIČIN V SYSTÉMU.....	15
2.4.1	<i>Popis výpočtu obvodových veličin a hodnot součástek.....</i>	<i>16</i>
2.4.2	<i>Popis výpočtu efektivního proudu.....</i>	<i>18</i>
2.4.3	<i>Kalibrace naměřeného proudu.....</i>	<i>22</i>
2.4.4	<i>Popis výpočtu fázového posuvu.....</i>	<i>24</i>
3	SYSTÉM ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ.....	26
3.1	VSTUPNÍ EXPANDÉRY.....	28
3.2	VÝSTUPNÍ EXPANDÉRY.....	29
3.2.1	<i>Specifikace parametrů výstupních expandérů.....</i>	<i>32</i>
3.2.2	<i>Desky plošného spoje DPS modulu OM2.....</i>	<i>34</i>
3.3	ZÁSUVKOVÉ MODULY.....	37
3.3.1	<i>Specifikace parametrů zásuvkových modulů.....</i>	<i>39</i>
3.3.2	<i>Desky plošného spoje zásuvkového modulu.....</i>	<i>40</i>
3.4	ŘÍDICÍ JEDNOTKA.....	42
3.5	POPIS FUNKCE SYSTÉMU.....	43
3.6	OBSLUHA A NASTAVENÍ SYSTÉMU.....	45
3.6.1	<i>Program IQRF.....</i>	<i>45</i>
3.6.2	<i>Komunikace mezi moduly IQRF.....</i>	<i>57</i>
3.6.3	<i>Program řídicí jednotky.....</i>	<i>61</i>
3.6.4	<i>Program vstupního expandéru.....</i>	<i>63</i>
3.6.5	<i>Program výstupního expandéru.....</i>	<i>66</i>
3.6.6	<i>Program zásuvkového modulu.....</i>	<i>69</i>
4	ZÁVĚR.....	71
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: OBECNÉ SCHÉMA INTELIGENTNÍHO DOMU	9
OBR. 2: ZNÁZORNĚNÍ MYŠLENKY SOFTWARE IQRF -PŘEVZATO Z [3].....	13
OBR. 3: SCHÉMA MODULU TR-52B - PŘEVZATO Z [4]	14
OBR. 4: MODUL TR-52B - PŘEVZATO Z [4]	15
OBR. 5: GRAF PRŮBĚHU SPÍNÁNÍ	16
OBR. 6: OBVOD PRO MĚŘENÍ PROUDU	17
OBR. 7: V-A CHARAKTERISTIKA SEPNUTÉHO TRIAKU BT138	18
OBR. 8: GRAF PŮLPERIODY S ROZDĚLENÍM NA NUMERICKÉ KROKY	19
OBR. 9: PRŮBĚH ZÁVISLOSTI EFEKTIVNÍHO PROUDU NA FÁZI SEPnutí	21
OBR. 10: VÝVOJOVÝ DIAGRAM VÝPOČTU EFEKTIVNÍHO PROUDU.....	22
OBR. 11: GRAF ZÁVISLOSTI ZESÍLENÍ NA TOLERANCI SOUČÁSTEK ZPĚTNÉ VAZBY	23
OBR. 12: UKÁZKA VÝPOČTU A PRŮBĚHU FÁZOVÉHO POSUNU	25
OBR. 13: PRINCIP TOPOLOGIE SYSTÉMU PRO BEZDRÁTOVÉ ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ.....	26
OBR. 14: MODUL DK-EVAL-03 S PŘÍPOJNÝM KABELEM.....	28
OBR. 15: SCHÉMA ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO MODULU S UPRAVENÝM KABELEM.....	29
OBR. 16: ZOBRAZENÍ VÝSTUPNÍHO EXPANDÉRU	30
OBR. 17: BLOKOVÉ SCHÉMA MODULU OM2	30
OBR. 18: SCHÉMA MODULU OM2	31
OBR. 19: ZAPOJENÍ TRIAKOVÝCH OBVODŮ OM2	33
OBR. 20: SCHÉMA NAPÁJECÍHO ZDROJE OM2	33
OBR. 21: NÁKRES UMÍSTĚNÍ DESEK DO KRABICE LK80x28R PO ODSTRŽENÍ	35
OBR. 22: SPODNÍ STRANA DESKY OM2	35
OBR. 23: OSAZOVACÍ PLÁN VRCHNÍ STRANY OM2	36
OBR. 24: OSAZOVACÍ PLÁN SPODNÍ STRANY OM2	36
OBR. 25: BLOKOVÉ SCHÉMA ZÁSUVKOVÉHO MODULU	37
OBR. 26: ZOBRAZENÍ ZÁSUVKOVÉHO MODULU	38
OBR. 27: CELKOVÉ SCHÉMA ZÁSUVKOVÉHO MODULU	38
OBR. 28: SPODNÍ STRANA DESKY OM1	40
OBR. 29: OSAZOVACÍ PLÁN VRCHNÍ STRANY DESKY MODULU OM1	40
OBR. 30: OSAZOVACÍ PLÁN SPODNÍ STRANY DESKY MODULU OM1	41
OBR. 31: SCHÉMA KOMUNIKACE MODULU ŘÍDICÍ JEDNOTKY	42
OBR. 32: FOTOGRAFIE MODULU CK-USB-02 TVOŘÍCÍHO ŘÍDICÍ JEDNOTKY	43
OBR. 33: SEZNAM SOUBORŮ PRO VYTVOŘENÍ PROGRAMU IQRF_PC	46
OBR. 34: <i>IQRF_PC</i> HLAVNÍ OKNO PROGRAMU	47
OBR. 35: OVLÁDÁNÍ VÝSTUPU KRÁTKÝM STISKEM	48
OBR. 36: OVLÁDÁNÍ STMÍVAČE DLOUHÝM STISKEM	48
OBR. 37: POLOŽKY HLAVNÍHO MENU PROGRAMU IQRF_PC.....	49
OBR. 38: OKNO PROGRAMU IQRF_PC SE VSTUPNÍMI MODULY.....	51
OBR. 39: OKNO PRŮBĚHU KOMUNIKACE	52
OBR. 40: OKNO INFORMAČNÍCH LOGŮ PROGRAMU.....	53
OBR. 41: EDITAČNÍ OKNO PRO ÚPRAVU VÝSTUPNÍCH MODULŮ	54
OBR. 42: EDITAČNÍ OKNO PRO ÚPRAVU VSTUPNÍCH MODULŮ	54
OBR. 43: DIALOGOVÁ OKNA PRO LOKALIZACI MODULU.....	55
OBR. 44: DIALOGOVÉ OKNO PRO NAČTENÍ VÝSTUPNÍHO MODULU	55
OBR. 45: DIALOGOVÁ A INFORMAČNÍ OKNA PRO NAČTENÍ SÍTĚ IQRF	56
OBR. 46: DIALOGOVÁ A INFORMAČNÍ OKNA PŘIPOJOVÁNÍ NOVÉHO UZLU DO SYSTÉMU	56
OBR. 47: DIALOGOVÉ OKNO PRO VYMAZÁNÍ CELÉ SÍTĚ.....	57
OBR. 48: DIAGRAM PROGRAMU PRO ŘÍDICÍ JEDNOTKU	62
OBR. 49: DIAGRAM PROGRAMU PRO VSTUPNÍ EXPANDÉR.....	63
OBR. 50: ČASOVÉ PRŮBĚHY PRO STMÍVAČ	64
OBR. 51: ČASOVÉ PRŮBĚHY PRO DLOUHÝ STISK	65
OBR. 52: ČASOVÝ PRŮBĚH PRO KRÁTKÝ STISK	65
OBR. 53: DIAGRAM PROGRAMU PRO VÝSTUPNÍ EXPANDÉR	67
OBR. 54: DIAGRAM PROGRAMU OUTModul2	68
OBR. 55: DIAGRAM PROGRAMU OUT-ZAS.....	70

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: SEZNAM PARAMETRŮ MODULU TR-52BA	15
TABULKA 2: ČASOVÉ KONSTANTY PRO PŮLPERIODU $F = 50\text{Hz}$	20
TABULKA 3: KONSTANTY PRO VÝPOČET EFEKTIVNÍHO PROUDU	22
TABULKA 4: SEZNAM SOUČÁSTEK MODULU OM2	37
TABULKA 5: SEZNAM SOUČÁSTEK ZÁSUVKOVÉHO MODULU	41
TABULKA 6: PŘIHLÁŠENÍ MODULU DO SÍTĚ	58
TABULKA 7: VYMAZÁNÍ MODULU NEBO CELÉ SÍTĚ	58
TABULKA 8: LOKALIZACE MODULU	59
TABULKA 9: STAV STAVU VÝSTUPNÍHO MODULU	59
TABULKA 10: NASTAVENÍ VÝSTUPNÍHO MODULU	59
TABULKA 11: ÚVODNÍ HLÁŠKA MODULŮ	60
TABULKA 12: CHYBOVÁ HLÁŠKA MODULŮ	60
TABULKA 13: OVLÁDÁNÍ VÝSTUPNÍHO MODULU	60
TABULKA 14: VYPNUTÍ VŠECH VÝSTUPNÍCH MODULŮ	61
TABULKA 15: POVELY OD VSTUPNÍHO EXPANDERU	61
TABULKA 16: ROZDĚLENÍ INFORMACE V BUŇCE DATA	61

1 Úvod

V současné době, kdy elektronické řízení a automatizace naprosto ovládá většinu výrobních i administrativních procesů, není použití automatizace v domácnostech ještě zcela běžné. Zatímco většinu výrobních procesů si bez použití automatizace nelze představit, v domovních systémech se většinou využívá tradiční způsob ovládání. Výrobci sice nabízejí určitý sortiment v této oblasti, ale jeho používání dosud nenabývá takového rozmachu, jaký by se ve světě elektroniky očekával.

Návrh malého systému řízení osvětlení a spínání zásuvkových okruhů je cílem této diplomové práce. Veškerý datový přenos mezi vstupními moduly (spínači) a výstupními moduly (akčními členy) probíhá pomocí bezdrátové komunikace s využitím komunikační platformy IQRF [2]. Provoz navrženého systému řízení spínání osvětlení je možno sledovat na obslužném počítači a rovněž jej lze pomocí počítače ovládat. Nejedná se o ucelený a komplexně zpracovaný systém známý pod názvem "inteligentní dům", ale spíše o jednu z jeho součástí. Tato práce má za úkol vytvořit vstupní a výstupní moduly, které mezi sebou komunikují, mají možnost volného programování a lze je centrálně řídit či kontrolovat pomocí počítače. Není zde řešena otázka vytápění, klimatizace, zabezpečovacího či požárního systému, sledování pohybu osob v objektu, kontrola přístupu a dalších systémů [18]. Protože se jedná o elektronický způsob řízení, je systém otevřen pro nespočetné další technologie. Je to jenom otázka programového vybavení a nalezení dalšího významu pro vstupní a výstupní prvky.

Systém řízení osvětlení je tvořen vstupními moduly - spínači a výstupními moduly - akčními členy. Pro bezdrátový přenos informací je využita bezdrátová komunikační platforma IQRF. Součástí zadání práce je vytvoření nadřazeného dohlížecího centra tvořeného počítačem. Pomocí počítače systém nejenom komunikuje a ovládá připojené prvky, ale dokáže zobrazovat provoz sítě, poruchovost a stavy připojených modulů, například měření teploty a měření stavu napájecích baterií. Systém umožňuje stmívání osvětlení, které je opět ovládáno pomocí tlačítek anebo pomocí obslužného programu v počítači. Výstupní moduly umožňují navíc snímání odběru proudu s následným výpočtem jeho efektivní hodnoty.

Při návrhu obslužného programu, ale také funkce celého systému, jsem vycházel z praxe. Mým dlouhodobým profesním zaměřením je instalace a programování elektronických systémů jako jsou: elektrická zabezpečovací a požární signalizace, kamerové systémy, audiosystémy, kontrola přístupu, docházkové systémy apod. I když jsem nikdy přímo neměl možnost podílet se na instalaci inteligentního domu, znám z praxe desítky systémů, které pracují na obdobném systému. Protože žádný systém není plně uspokojivý, vybral jsem způsob řízení, který je kompromisem mezi širšími uživatelskými možnostmi na straně jedné a jednoduchým ovládáním na straně druhé. Každý z dosud známých systémů se pohybuje mezi těmito hranicemi. Systém může být velmi variabilní, ale hůře programovatelný, anebo naopak

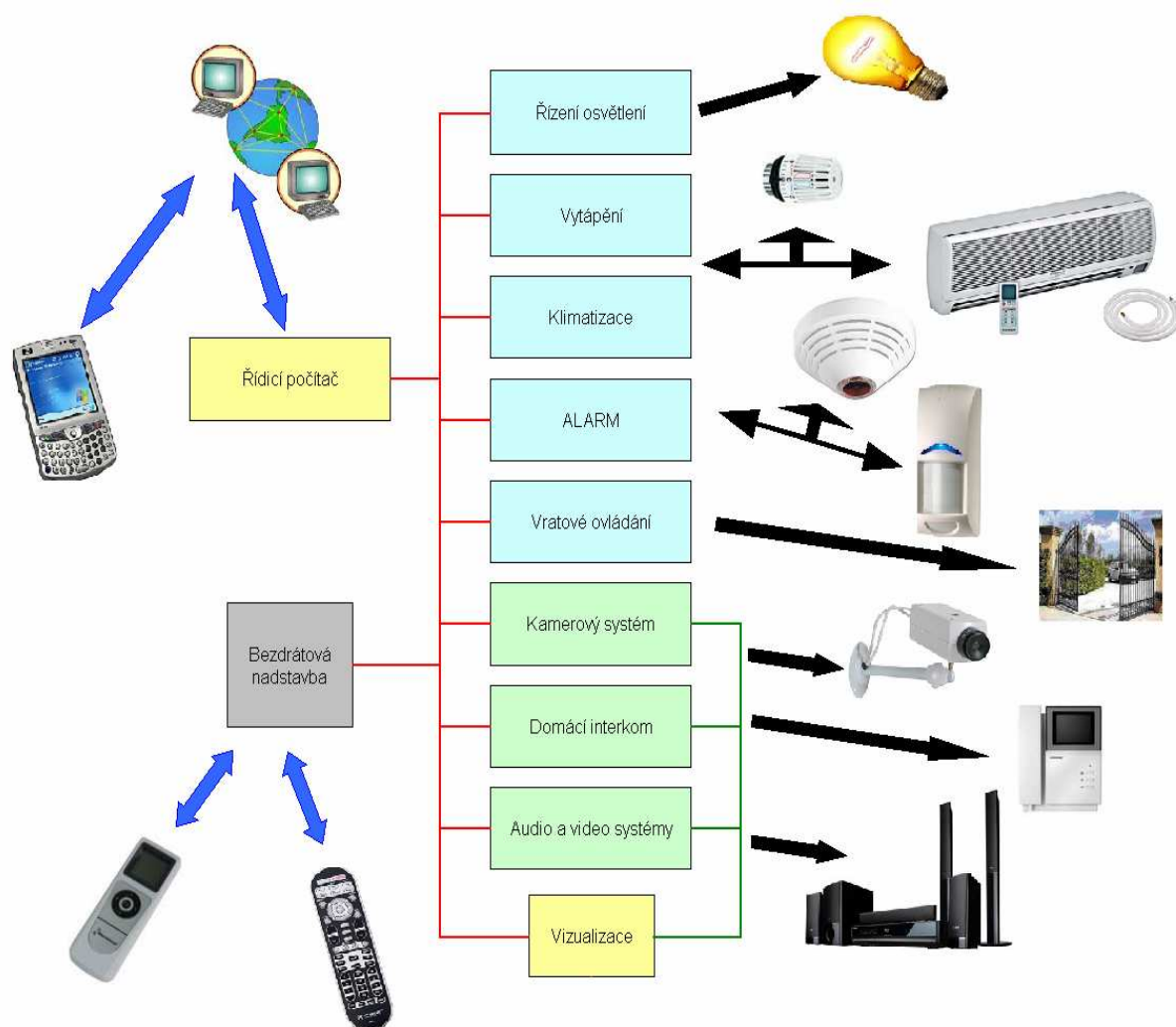
system neobsáhne všechny dostupné možnosti, ale snadno se ovládá a programuje. Myslím si, že v navrženém systému je kladen větší důraz na jednoduchost a uživatelskou přívětivost.

Tato diplomová práce obsahuje komplexní popis vytvořeného systému řízení automatizace v domácnosti. První kapitola se zabývá úvodem do problematiky systémů řízení automatizace domácností a zároveň nabízí možnosti několikerého řešení. V následující kapitole je naznačena problematika řízení a provozu automatizace v domácnostech s přihlédnutím na bezdrátové řešení. Je zde rovněž vložen stručný popis bezdrátové platformy IQRF, která tvoří základ komunikace všech prvků systému. V závěru následující kapitoly jsou provedeny výpočty některých obvodových veličin a výpočty měření, které systém poskytuje uživateli pro zvýšení informovanosti o svém stavu. V další kapitole je popsán systém pro ovládání řízení osvětlení. Popis je proveden nejprve z hlediska obvodového řešení, ve druhé polovině kapitoly je řešeno programové vybavení. V poslední kapitole je provedeno shrnutí a zhodnocení celého níže popsaného systému.

2 Domáci a kancelářská automatizace

V současné době je většina elektroinstalací pro bytové objekty řešena autonomně bez prvků či náznaků centrálního řízení. Propracované řízení domácích procesů sice jde pomalu do popředí zájmu investorů, ale pořád zaostává za efektnějšími a viditelnějšími prvky moderního stavebnictví.

V této kapitole je naznačena problematika řešení automatizace provozu domů a malých administrativních objektů. Typické součásti takových objektů jsou nakresleny na obrázku 1.



Obr. 1: Obecné schéma inteligentního domu

2.1 Popis možností inteligentního domu

V instalacích inteligentního domu se neřeší pouze otázka spínání světel, ale většinou se jedná o mnohem propracovanější systém, který je otevřen každé nové technologii a každému novému trendu. Osvětlení se může řídit nejenom na pokyn z ovládacího tlačítka, ale také pomocí určité logiky reagující například na: pohyb osob v objektu, intervaly časového rámce,

v návaznosti na poplach vlastního zabezpečovacího či požárního systému, atd. [17] [18]. Vývoj takto propracovaného systému nelze vytvořit bez týmové spolupráce a přesné analýzy požadavků. Z praxe je známo mnoho systémů, které jsou inteligentní, mají nekonečně mnoho variant využití, jsou otevřené téměř každé technologii, ale jsou zbytečně složité - tedy uživatelsky nepřívětivé. Ovládání provozu automatizace domácností musí totiž zvládnout běžný spotřebitel, tedy osoba ovládající práci na počítači uživatelským způsobem. Shrneme-li běžné požadavky na systémy domácí automatizace a nutnost jednoduchého ovládání, musí řešení inteligentního domu splňovat tyto zásadní požadavky:

1. Musí být stejně jednoduché na ovládání jako běžný systém bez inteligence,
2. musí přinést uživateli mnohem větší komfort než běžný systém,
3. musí přinést úsporu kabeláže na elektroinstalaci,
4. nesmí být o mnoho dražší než běžný systém.

Požadavek prvního bodu je jasný. Uživatel, pokud si bude přát rozsvítit na chodbě, nemusí nutně znát logiku podnětů spínání, ale pouze potřebuje rozsvítit světlo a to buď za pomoci ovladače, nebo pohybového snímače, popř. na základě jiné logiky vyplývající z provozu. V okamžiku, kdy inteligentní systém bude chtít usnadnit uživateli již tak snadnou práci, jako je sepnutí vypínače a sám bude zpracovávat podněty vyšších návazností, může dojít k situaci, kdy uživateli nebude rozsvíceno tam, kde potřebuje. Z praxe jsou známy případy, kdy uživatel chtěl na chodbě rozsvítit malé orientační světlo a nemohl nalézt na dotykovém displeji, kde se tento proces zapíná. Z toho důvodu na tak zdánlivě jednoduchou potřebu rezignoval.

Požadavek druhého bodu je rovněž zřejmý. Systém musí umožňovat komplexní dohled z počítačového centra, přinášející co možná nejvíce informací o stavu systému. Inteligentní dům by měl automaticky řídit ty pochody, na které jsme zvyklí a naopak procesy, které běžně řešíme na základě vlastního rozhodnutí neměnit a nezasahovat do nich. Centrální dohled a kontrola nad všemi procesy - to je nejsilnější zbraň automatizace domácností. Uživateli musí být umožněno z pohodlí vlastního počítače nejenom zjišťovat stav jednotlivých procesů, ale zjišťovat bezporuchovost systému apod. Okamžitý přehled o spotřebě elektřiny, plynu, o době strávené před televizním přijímačem, o době výpadku elektrického proudu, to je to nejlepší, co může inteligentní dům nabídnout. Následné přehledné statistické zpracování jednotlivých dat systému může vést uživatele k efektivnějšímu přístupu při rozhodování nad provozem a tím ke zvýšení úspory nákladů na provoz domu.

Požadavek třetího bodu není na první pohled zcela zřejmý. V současné době je stále finančně výhodnější propojit spínač s osvětlením pomocí silového měděného kabelu, než použít například datovou sběrnici s mnohem menším průřezem o menší celkové délce. Tato sběrnice musí být samozřejmě řízena elektronikou. Trendy vývoje cen nerostných surovin a elektroniky jsou dostatečně výmluvné. Zatímco cena měděného kabelu mírně roste, cena elektroniky klesá. Je to dáno technologickými možnostmi. Vodič pro přenos energie bude

vždy potřebovat větší množství nerostných surovin a sebelépe propracovanější technologie to nijak neovlivní. Vzhledem k tomu, že suroviny jsou vyčerpateľné, není předpoklad, že jejich ceny budou klesat. Naopak díky stále se zlepšující technologii v oblasti výroby a vývoje elektroniky není její cena moc odvislá na volbě surovin, či na možnostech lidských zdrojů. Díky tomuto faktu cena elektroniky klesá. V současné době jsou pořizovací náklady čipu s tisíci tranzistory srovnatelné s náklady na pořízení jednoho metru měděného kabelu. Například běžná koncová cena osmibitového mikrokontroléru PIC10F200 o rychlosti 4 MHz se pohybuje okolo 20 Kč. Za stejnou cenu pořídíme 1 metr kabelu CYKY 3Cx2,5 mm². Cenový poměr mezi oběma řešeními je zřejmý. Na druhé straně mikrokontrolér a také jiné další elektronické součástky samy o sobě nic neudělají. Ty musí být součástí promyšleného a propracovaného systému tak, aby se projevila výhoda elektronického řešení. Při čtení tohoto odstavce nesmí vzniknout dojem, že elektronika nahradí silovou část. Příklady ke všem koncovým prvkům jako jsou svítidla, zásuvky a podobně, budou i nadále realizovány silovým kabelem. Elektronika může nahradit, stejně jako nahrazuje v ostatních odvětvích, pouze řídicí část systému. Tato může v určitých případech tvořit i polovinu nákladů na elektroinstalace. I přes poukázání na skutečnost, že elementární komponenty obou systémů jsou cenově shodné, stále patří systémy inteligentního domu do kategorie nadstandardu.

Čtvrtý bod požadavků na inteligentní dům byl částečně vysvětlen v předchozím odstavci. Cenu systému inteligentního domu určuje mnohem více ekonomický zájem, než ostatní kritéria. Za lidskou invenci, která je zde zastoupena ve velké míře, se zkrátka více platí, než za suroviny či náklady na výrobu. Každý převratný systém vstupující na trh, představoval luxusní předmět a podle toho se také odvíjela cena. Zatímco například počítače na počátku svého života byly součástí pouze výpočetních podniků, kterými disponovala pouze větší města, v současné době se bez neporovnatelně lepšího zařízení s neporovnatelně nižší cenou neobejde i ta nejmenší organizační jednotka. U počítačů souvisel historický pokles ceny i s postupem technologie, takže snížení ceny se odvíjelo nejenom dle požadavků trhu, ale také jako odraz nových technologických možností. Systémy řízení automatizace v domácnosti určitě v současné době nečekají na nové technologické možnosti. Ty jsou mnohem dále. Nepředpokládá se, že jednotka, která bude obsluhovat automatizaci domácnosti, očekává nástup vícejádrových procesorů s rozsáhlejší datovou sběrnici. Z toho důvodu je patrné, že až se časem přestane nahlížet na inteligentní dům jako na luxusní a nadstandardní záležitost, bude cena jeho řídicího systému úměrně odpovídat nákladům na výrobu a vývoj, a tím se přenesení automatizace domácností do kategorie běžných cenových hladin.

2.2 Problematika bezdrátového řešení

Bezdrátový přenos dat zaznamenává v poslední době stále se zvyšující nárůst využití. Je to dáno především zlepšováním technologie výroby elektronických součástek a tím i

snižováním nákladů výroby bezdrátových komponentů. Zatímco cena kabelů nutných pro přenos dat neklesá, naopak mírně roste, bezdrátové systémy se díky klesající pořizovací ceně stávají stále více používanějšími technologiemi a to i v průmyslovém prostředí. Dosud se nejvíce bezdrátové technologie podílely na přenosu dat do velkých vzdáleností tím, že pouze nahrazovaly kabelové vedení. Jednalo se například o technologie mikrovlnných spojů či systémy WiFi, apod. V poslední době se však bezdrátové technologie stále více prosazují v oblasti automatizace, ať už v domácnostech nebo i v průmyslové oblasti. Jedná se zejména o sběr dat, řízení přenosu datových rámců, inteligentní síťování bezdrátových prvků, autorizace a autentizace, atd.

Za rozvojem bezdrátových technologií nestojí pouze vývoj nových, lepších a rychlejších bezdrátových modulů, ale také snižování spotřeby elektronických součástek. Bezdrátové technologie jsou téměř nerozlučně spojeny s bateriovým napájením. Pokud se uživateli nabídne systém bezdrátového řízení, ale s podmínkou, že bude muset napájet bezdrátový prvek buď externím zdrojem, anebo baterií s nízkou životností, nepokročí bezdrátový systém do popředí. Pokud se ovšem nabídne prvek s velmi malou spotřebou - řádově jednotky mikroampér, životnost baterie a tím i bezobslužná provozuschopnost může trvat i několik let. Takový bezdrátový systém se může porovnávat s běžnou drátovou technologií a v některých případech může dosáhnout i převahy.

2.3 Bezdrátová komunikační platforma IQRF

Bezdrátová komunikační platforma IQRF představuje komplexní řešení bezdrátového přenosu informací. Jedná se o platformu, která byla vyvinuta českou firmou MICRORISC, s.r.o. Platforma IQRF komunikuje pomocí vlastního protokolu. Pro přenos využívá pásma na frekvencích 433 MHz a 868 MHz. Tyto frekvence spadají do oblasti bezlicenčního průmyslového pásma. IQRF disponuje celou škálou komunikačních prvků s vlastním operačním systémem. Ten zajišťuje všechny potřebné aspekty týkající se provozu bezdrátové technologie, takže uživatelský program, pracující pod tímto operačním systémem, obsluhuje pouze vkládání, výběr a zpracování dat, aniž by musel řešit jejich bezdrátový přenos.

2.3.1 Popis bezdrátové komunikační platformy IQRF

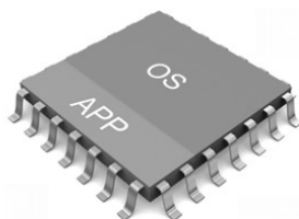
Bezdrátová komunikační platforma IQRF zahrnuje veškeré prostředky spojené s bezdrátovým přenosem dat, včetně jejich zpracování. Základ bezdrátové komunikační platformy IQRF tvoří moduly řady TR, které jsou obsluhovány speciálním programovým vybavením. Za tímto účelem je datový i výpočetní prostor v obslužném mikrokontroléru modulu TR rozdělen do dvou oblastí (obrázek 2).

Operační systém (OS)

Operační systém obsahuje základní rutiny pro obsluhu a řízení přenosu dat. Tato programová část se nainstaluje do mikrokontroléru automaticky spolu s aplikační vrstvou a řeší veškeré komunikační záležitosti a problémy. Uživatel tak nepotřebuje složitě řešit přístupy k síti, možnosti směrování, kolize přenosu atd. To všechno už je vyvinuto a vyřešeno výrobcem [3].

Aplikační vrstva (APP)

Tato oblast je využívána zákaznický. Uživatel pomocí standardních i speciálních funkcí může využít veškerý potenciál systému IQRF. Příkazy, nebo lépe řečeno funkce operačního systému [7] se využívají pro obsluhu platformy IQRF a také pro řešení běžných programátorských potřeb. Programátor může využít většinu možností mikrokontroléru pracujícího pod operačním systémem až na některé výjimky. Některé moduly mikrokontroléru totiž zabírá operační systém pro svoji potřebu. Pomocí přesně vymezeného datového i výpočetního prostoru obslužného mikrokontroléru, může uživatel vytvořit téměř libovolnou aplikaci.



Obr. 2: Znárodnění myšlenky softwaru IQRF -převzato z [3]

IQRF podporuje dva režimy bezdrátové komunikace:

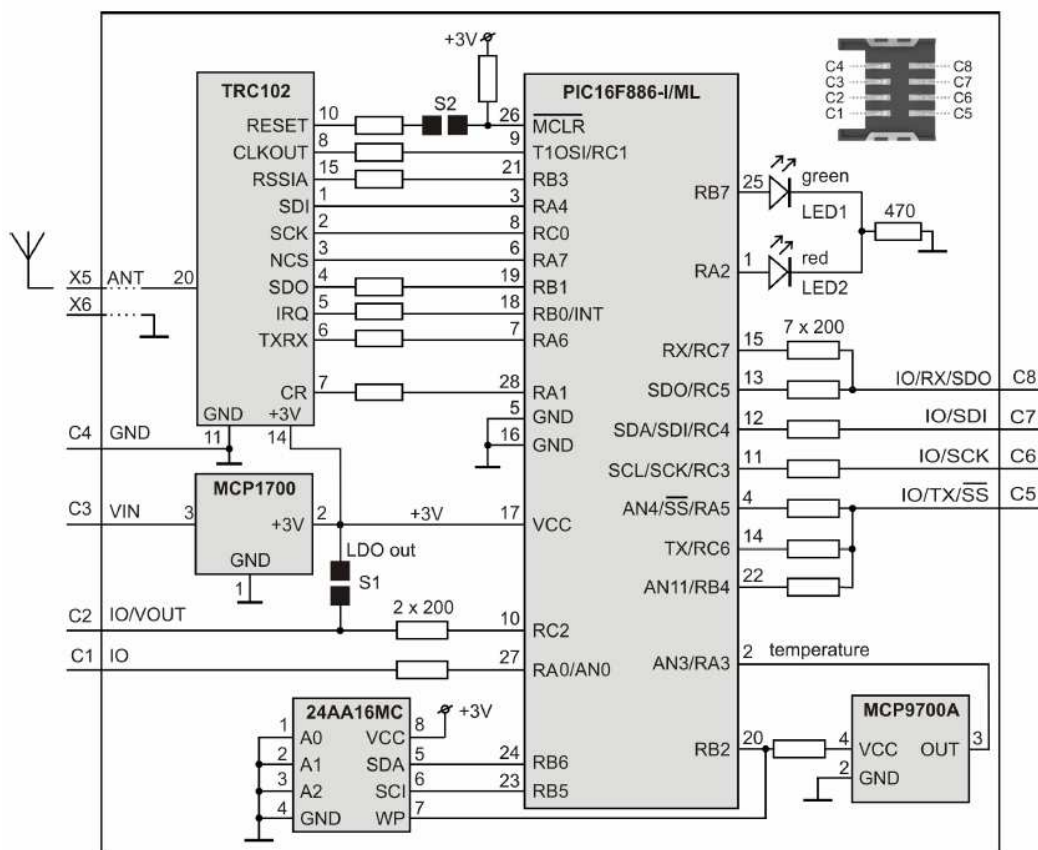
- **Per-to-peer** řeší komunikaci mezi dvěma (nebo i více) přijímacími zařízeními. Přijímacích modulů může být neomezený počet. Tento systém nevyžaduje koordinátora komunikace. Řízení komunikace je mnohem jednodušší a také datový rámec je kratší [3].
- **IQMESH** je propracovanější síťový mód. Pro řízení komunikace se vyžaduje, aby jeden z modulů v síti byl tzv. koordinátor, prostřednictvím kterého bude probíhat veškerá komunikace. Zbývající moduly v síti se nazývají uzly a může jich být zapojeno do jedné sítě, tedy přihlášeno na jednoho koordinátora, maximálně 239 [3].

Rozšířený popis systému IQRF, zejména popis komunikačních modulů, popis operačního systému a topologie sítě, je zpracován v semestrálním projektu [1] a hlavně v [2].

2.3.2 Moduly bezdrátové komunikační platformy IQRF

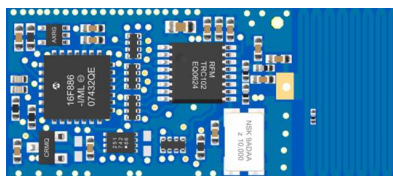
Základními prvky bezdrátové komunikační platformy IQRF jsou moduly řady TR-5x. Tyto moduly pracují jako přijímače i vysílače dat. Přijatá data mohou zpracovávat, mohou získávat informace od svých periférií (teplota, stav bateriového napájení) a dokáží rovněž zpracovaná data posílat prostřednictvím několika typů sběrnice. Podpora komunikace

prostřednictvím sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) je přímo obsažena v operačním systému IQRF. Pro spojení se svým okolím využívají moduly TR čtyři kontakty. Ty mohou být použity jako digitální vstupy či výstupy anebo se mohou použít za účelem výše popsané komunikace po sběrnici. Moduly TR jsou dostupné v několika variantách lišících se způsobem osazení, druhem modulace signálu (ASK, nebo PSK) a způsobem připojení k anténě. V každém modulu musí být nainstalovaný operační systém spolu s uživatelským programem.



Obr. 3: Schéma modulu TR-52B - převzato z [4]

Základní prvek systému řízení osvětlení popsaného v této práci je tvořen modulem TR-52BA (obrázek 3 a 4) [4]. Modul je konstrukčně vytvořen pro zasunutí do standardní patice pro kartu SIM. Moduly mají 8 vývodů, z nichž čtyři slouží pro komunikaci s okolím, ostatní jsou využity pro napájení a měření analogového signálu. Tyto čtyři vývody mohou být použity jako digitální vstupy, digitální výstupy nebo jako vývody sériové linky SPI. Pomocí linky SPI, může modul komunikovat s ostatními systémy a lze jej tak zakomponovat do jiných oblastí, ve kterých pracuje jako bezdrátová periferie. Schéma modulu TR-52B je na obrázku 3.



Obr. 4: Modul TR-52B - převzato z [4]

Moduly TR-52B jsou řízeny mikrokontroléry PIC16F886-I/ML vyráběných společností MICROCHIP [9]. Modul obsahuje kromě vysokofrekvenční části také nízkonapěťový teploměr MCP9700A a externí paměť EEPROM s organizací dat 8x256x8 bitů 24AA16MC. Verze modulu TR-52BA, která je použita v systému řízení osvětlení, je navíc opatřena interní anténou. Seznam elektrických vlastností a parametrů zmíněného modulu je přehledně uveden v tabulce 1 a v [4].

Tabulka 1: Seznam parametrů modulu TR-52BA

SPECIFIKACE		TYPICKÉ HODNOTY
Napájecí napětí		3,0 V až 5,3 V
Pracovní teplota		0°C až +70°C
Spotřeba proudu	režim spánku	2 μ A až 4 μ A
	běžný provoz	1 mA až 2 mA
	přijímací mód	až 13 mA
	vysílací mód	14 mA až 24 mA
RF citlivost	přenosová rychlost 1,2 kb/s	-110 dBm
	přenosová rychlost 19,2 kb/s	-99 dBm
Vysílací výkon		až 5 sBm
Vysílací dosah	přenosová rychlost 1,2 kb/s	až 700 m
Jmenovitá frekvence	programově volitelné	868,35 MHz nebo 916,50 MHz
Přenosová rychlost	programově volitelné	1,2 kb/s 19,2 kb/s 57,6 kb/s 86,2 kb/s
LDO výstup	vnitřní napájecí napětí	+3 V \pm 60 mV, 100 mA max
A/D převodník	10bitů, 2 vstupy, vstupní impedance 10 k Ω max.	
Přesnost teplotního senzoru	s kalibrací	\pm 2°C max
	bez kalibrace	\pm 0,1°C max
Rozměry	délka x šířka x tloušťka	31,8 mm x 14,9 mm x 3,0 mm

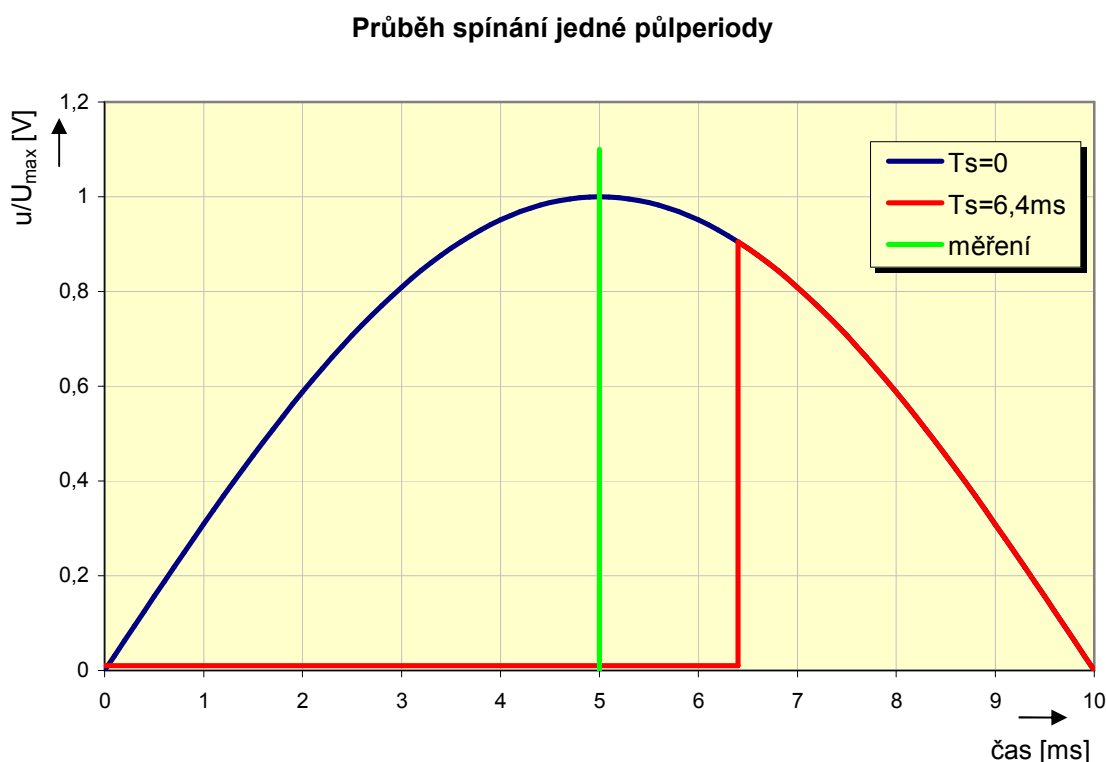
2.4 Rozbor elektrických veličin v systému

V této diplomové práci je řešeno spínání spotřebičů připojených k síťovému napětí. Pokud jsou na výstupní moduly připojeny žárovky, lze pomocí triakového spínání řídit jejich svítivost. Ta je řízena pomocí oddáleného sepnutí v rámci jedné púlperiody síťového kmítotu. Čím je sepnutí spotřebiče opožděno od průchodu nulovou úrovní, tím méně žárovka spotřebovává výkonu a samozřejmě tím méně svítí. Výstupní moduly dokáží rovněž měřit proud protékající spotřebičem pomocí měření napětí diferenciálním zesilovačem na odporu. Ten je vložen do cesty spínaného obvodu. Aby výsledek měření byl pro uživatele smysluplný, musí se pomocí níže popsaného způsobu vypočítat efektivní složka protékajícího proudu. Ta

je závislá především na hodnotě maximálního proudu a také na době sepnutí v rámci půlperiody síťového průběhu. Další informace, která může být systémem předána uživateli, je znázornění účinníku připojené zátěže. V další podkapitole bude i tato možnost rozebrána. Na rozdíl od měření efektivního proudu však není programově řešena. Pro tuto možnost je však výstupní modul z hlediska obvodového řešení připraven.

2.4.1 Popis výpočtu obvodových veličin a hodnot součástek

Výstupní moduly pro řízení osvětlení jsou schopny měřit průchod proudu zátěží a následně odeslat naměřenou hodnotu prostřednictvím komunikační platformy IQRF do počítače a dále zpracovat. Na obr. 5 jsou nakresleny průběhy spínání s posunutím fáze.



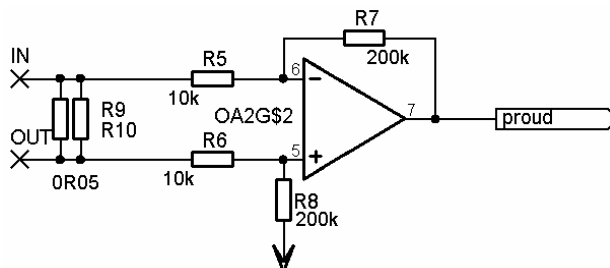
Obr. 5: Graf průběhu spínání

Výpočet efektivního proudu z velikosti maximální amplitudy sinusového průběhu je velmi jednoduchý. Jedná se o vztah rovnosti dodaného výkonu střídavého proudu s proudem stejnosměrným. Platí:

$$RI^2 = \int_0^T Ri^2(t)dt \quad . \quad (1)$$

Jelikož výstupní obvod dokáže regulovat výkon na své zátěži prostřednictvím časového posunu sepnutí je zřejmé, že plochu výše uvedeného integrálu omezují posouvající se meze.

Z grafu je patrné, že spínací proces v každé půlperiodě (délka 10 ms) probíhá v intervalu mezi časy $T_{smax} = 0$ ms do $T_{smin} = 6,4$ ms. Výpočet následné efektivní hodnoty bude z tohoto hlediska mírně složitější. Měření průběhu proudu probíhá pomocí obvodu na obrázku 6. V systému je použit diferenciální zesilovač se zesílením 20.



Obr. 6: Obvod pro měření proudu

Z důvodu oddělení síťového napájení od řídicích obvodů je v modulu použit dvojitý operační zesilovač v diferenčním zapojení. Výhodou toho obvodu je, že nejenom oddělí vysokou impedanci měřicí větve od výstupu, ale také od sebe oddělí uzemnění vstupní a výstupní části obvodu. Proto je vnitřní napájení obvodu plovoucí vůči síťovému napětí. Na obrázku 6 je tento obvod detailně znázorněn. Pro synchronizaci fáze ze síťového napájení je rovněž použito diferenční zapojení.

Proud procházející ze vstupní svorky LA/LB (na obrázku z IN do OUT) do L1 nebo L2, vytváří napětí na předřadných rezistorech $R_9 \parallel R_{10}$. Toto napětí je zpracováno symetrickým diferenčním zesilovačem OA1G\$2:

$$U_{OA1} = \left(\frac{R_9 R_{10}}{R_9 + R_{10}} I_R \right) \cdot \frac{R_{78}}{R_{56}} = 0,05 \cdot 20 I_R = I_R. \quad (2)$$

Z poměrů rezistorů R7, R8 a R5, R6 jasně vyplývá, že zatímco operační zesilovač zvětší napětí na rezistorech 20x, hodnota proudu je těmito rezistory 20x zmenšena oproti napětí. Pro výpočet maximálního proudu platí:

$$I_{MAX} = U_{OA1MAX} \approx U_{CC}. \quad (3)$$

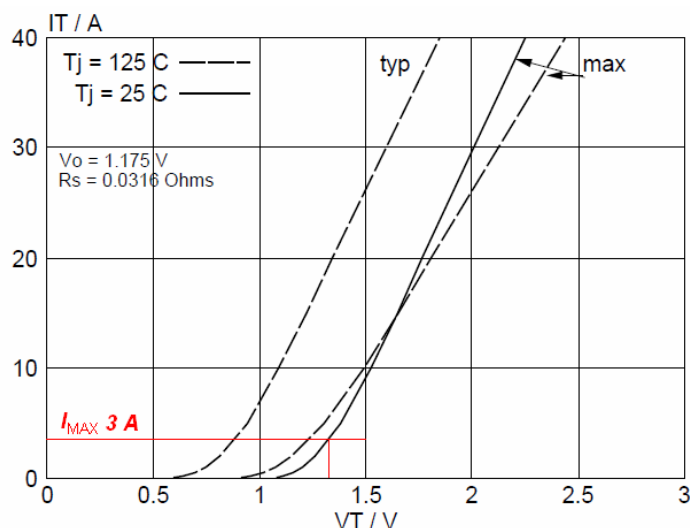
Aby se hodnota měřeného proudu pohybovala v operační oblasti zesilovače, je nutné, aby maximální hodnota nepřesáhla hodnotu 3A. Při této hodnotě není potřeba chladit prvky vřazené do cesty proudu, tedy rezistory R_9 , R_{10} a také triaky T_1 a T_2 , protože:

$$P_{rezMAX} = (I_{1MAX}^2 + I_{2MAX}^2) R = 0,9 \text{ W}, \quad (4)$$

což plně vyhovuje, neboť použité rezistory mají dovolený ztrátový výkon $P = 2 \text{ W}$. Z průběhu na grafu V-A charakteristiky triaku BT138 (obrázek 7) vyplývá, že při průchodu proudu $I_{MAX} = 3 \text{ A}$ bude napětí na sepnutém výstupu okolo hodnoty $U_s = 1,3 \text{ V}$. Z jednoduchého vztahu lze určit, že maximální ztrátový výkon bude:

$$P_{MAX} = I_{MAX} \cdot U_S = 3,9 \text{ W} . \quad (5)$$

Výsledek opět vyhovuje. Výhodou zapojení je, že modul může hlídat jak průchod proudu, tak teplotu a při překročení některé z uvedených hodnot nad limitní mez může automaticky přetížený výstup odpojit a samozřejmě může o této situaci informovat obslužný program.



Obr. 7: V-A charakteristika sepnutého triaku BT138

Při použití běžných tolerancí hodnot rezistorů není v silách tohoto obvodu změřit přesnou hodnotu proudu. Z toho důvodu je v obslužném programu zavedena funkce kalibrace. Po externím změření průchodu proudu se naměřená hodnota запиše do editačního okna a pomocí algoritmu programu se celý výpočet vynásobí kalibračním koeficientem tak, aby se hodnota naměřená externě shodovala s hodnotou získanou procesorem. Protože procesor ovládá nezávisle na sobě dva výstupy, musí být programově zajištěno odpojení dalšího výstupu v okamžiku měření. Jinak by operační zesilovač naměřil hodnotu součtu obou proudů tekoucích do zátěže.

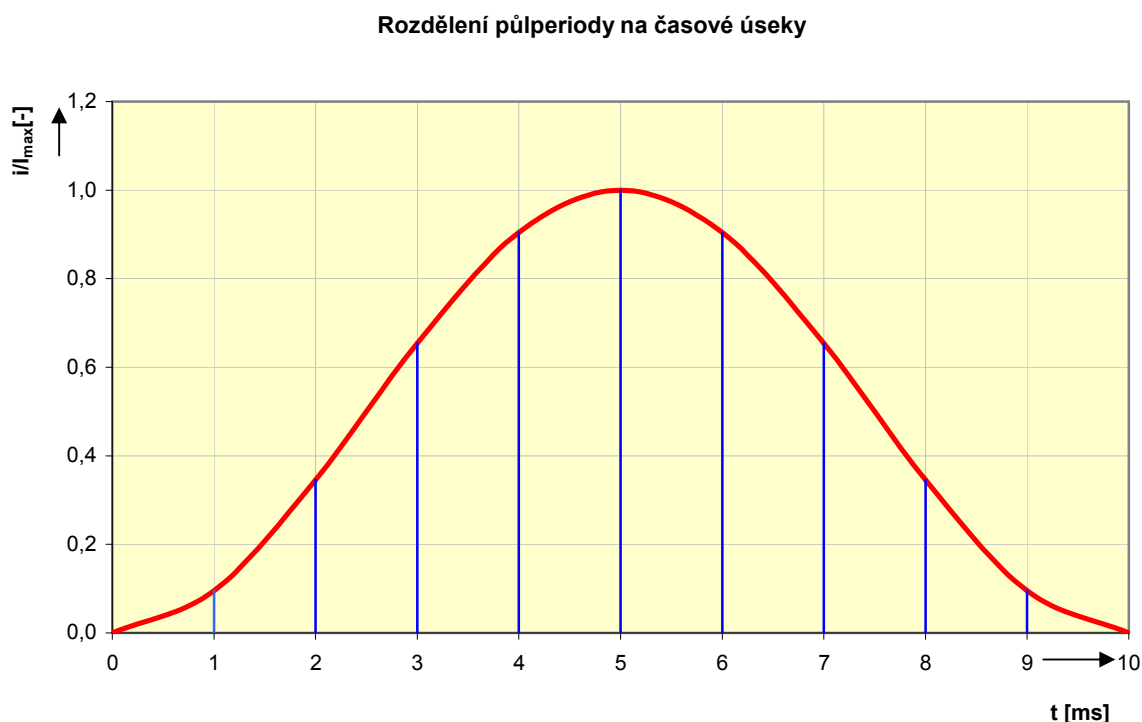
2.4.2 Popis výpočtu efektivního proudu

Pro výpočet efektivního proudu s možností posouvání mezí na půlperiodě síťového kmítočtu lze odvodit z (1) následující vztah:

$$RI^2 = \int_0^T Ri^2(t)dt \rightarrow I = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} i^2(t)dt} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_{\max}^2 \sin^2(\omega t)dt} . \quad (6)$$

Z důvodu omezení početních schopností mikrokontroléru, ale také proto, že není nutné prezentovat výsledek s velkou přesností, byla zvolena metoda numerického výpočtu efektivní hodnoty. Z teoretického rozboru situace vyplynulo, že existují dva poměrně jednoduché výpočetní postupy, jejichž výstupem je dosažení uspokojivého výsledku efektivního proudu.

Jeden způsob předpokládá numerické řešení integrálu půlperiody za pomoci výpočtu obsahu lichoběžníků. Druhý postup spočívá ve výpočtu závislosti efektivního proudu na posunutí meze sepnutí a následnou lineární interpolací vypočteného průběhu. Pro potřeby výpočtu se půlperioda rozdělí na úseky x o délce $x = 1$ ms. Na obrázku 8 je nakreslen průběh kladné půlperiody síťového kmitočtu. Půlperioda kmitočtu o frekvenci $f = 50$ Hz má délku $T/2 = 10$ ms.



Obr. 8: Graf půlperiody s rozdělením na numerické kroky

Výpočet pomocí obsahů lichoběžníků

Z obrázku 8 je patrné, že pokud se průběh rozdělí na jednotlivé ekvidistantní úseky, vznikne soustava lichoběžníků, jejichž součet obsahů se přibližuje k analytickému výpočtu plochy. Plocha lichoběžníku je dána:

$$P_i = k_i \cdot x + \frac{(k_{i+1} - k_i)x}{2} = \frac{x}{2}(k_{i+1} + k_i), \quad (7)$$

kde i je pořadí úseku rozdělení, k je výška lichoběžníku (hodnota jednotkového okamžitého proudu i/I_{\max}). Hodnota plochy půlperiody na obrázku 8 je základem k získání jednotkového efektivního průběhu proudu. Numerickým výpočtem získáme plochu jako:

$$I = \sqrt{\frac{2}{T} I_{\max}^2 \sum_{i=1}^{i=m} P_i} = \sqrt{\frac{2}{T} I_{\max}^2 (P_{10} + P_9 + \dots + P_1)}, \quad (8)$$

v tomto vztahu hodnota m představuje dolní mez integrálu neboli dobu sepnutí. Veličina I_{\max} je hodnota získaná měřením průběhu uprostřed půlperiody, tedy v čase $t_m = 5$ ms. Dosazením (7) do vztahu (8) získáme docela jednoduchý vztah pro výpočet obsahu plochy:

$$I = I_{\max} \sqrt{\frac{2}{T} \left(\frac{x}{2} (k_9 + k_8) + \frac{x}{2} (k_8 + k_7) \dots + \dots \frac{x}{2} (k_{m+1} + k_m) \right)} = I_{\max} \sqrt{\frac{x}{T} (2k_9 + 2k_8 \dots + \dots k_m)}. \quad (9)$$

Vypočtením vztahu je patrné, že maximální hodnota proudu je veličina, tvořící koeficient jednotkového efektivního průběhu. Hodnoty k_x jsou vypočítány jako $2\sin^2(\omega t)$. Pro příklad uveďme, že pokud mikrokontrolér sepne výstup v čase $t_s = 4$ ms a zároveň naměří amplitudu proudu I_{\max} , potom obecný výpočet efektivního proudu bude:

$$I_{4ms} = I_{\max} \sqrt{\frac{x}{T} (2k_9 + 2k_8 + 2k_7 + 2k_6 + 2k_5 + k_4)}. \quad (10)$$

Tabulka 2: Časové konstanty pro půlperiodu $f = 50$ Hz

i	sin	\sin^2	$2\sin^2$	I/I_{\max}
ms		k_i	$2k_i$	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,7071
1	0,3090	0,0955	0,1910	0,7037
2	0,5878	0,3455	0,6910	0,6879
3	0,8090	0,6545	1,3090	0,6505
4	0,9511	0,9046	1,8092	0,5876
5	1,0000	1,0000	2,0000	0,5000
6	0,9511	0,9046	1,8092	0,3934
7	0,8090	0,6545	1,3090	0,2771
8	0,5878	0,3455	0,6910	0,1638
9	0,3090	0,0955	0,1910	0,0690
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Vypočítané argumenty funkce sin jsou zapsány v tabulce č. 2. Pokud tedy procesor má k dispozici dobu sepnutí výstupu a výšku maximálního průběhu, může pomocí hodnot z tabulky 2 a vztahu (9) vypočítat přibližnou velikost efektivního průběhu proudu.

Tento způsob výpočtu má jednu nevýhodu. Časový krok $x = 1$ ms je značně hrubý, neboť mikrokontrolér spíná výstup v intervalech $t = 32$ μ s. Jemnější dopočítání výsledku by znamenalo rozdělení prvního lichoběžníku přesnou hodnotou sepnutí. Tato zdánlivá složitost vede k rozhodnutí pro jednodušší výpočet efektivního průběhu.

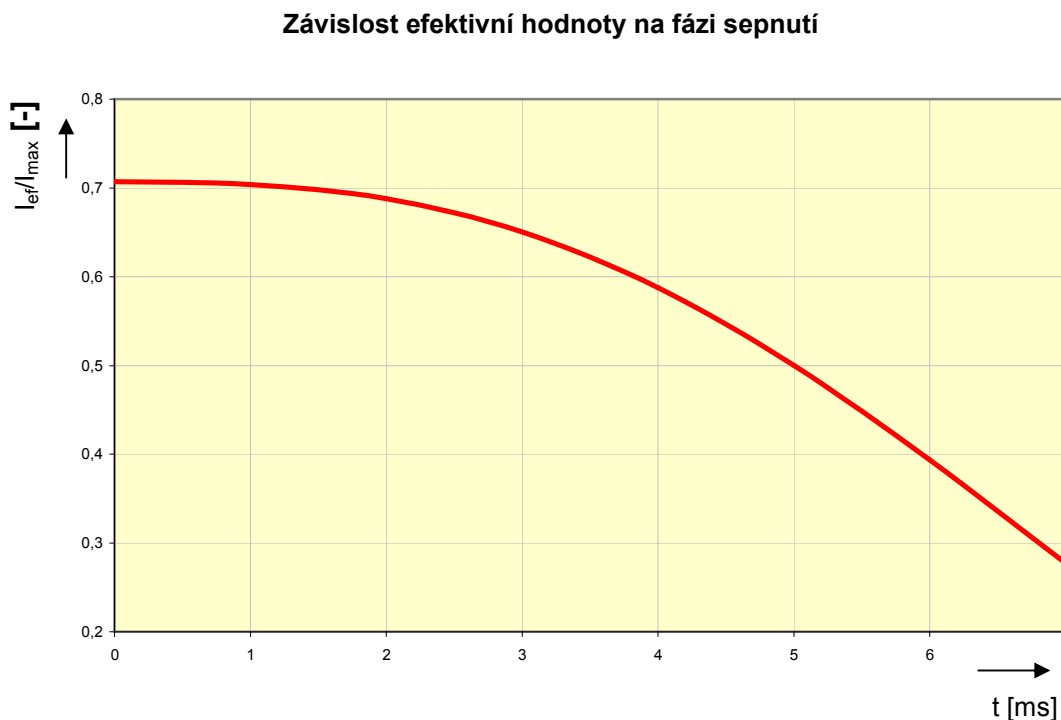
Výpočet pomocí lineární interpolace

Jak už bylo naznačeno, výpočet efektivní složky proudu pomocí lichoběžníků by musel sestávat ze dvou kroků, což je možné, ale vzhledem k tomu, že procesor má omezený výpočetní výkon, ukazuje se, že jednodušší způsob výpočtu je efektivnější.

Nejprve můžeme konstatovat, že efektivní složka průběhu proudu je obecně dána vtahem:

$$I = I_{\max} \cdot X, \quad (11)$$

kde hodnota X představuje jednotkový efektivní průběh daný poměrem efektivního proudu a amplitudy I/I_{\max} . Analytickou cestou se vypočítá závislost jednotkového efektivního průběhu na zpoždění sepnutí. Jedná se o výpočet integrace ze vztahu (6). Tentokrát se jedná o integrál určitý a závislost je počítána tak, že se posouvá dolní mez od času $t_{\max} = 0$ ms, až do času $t_{\min} = 6,4$ ms. Graf závislosti je vykreslen na obrázku 9.



Obr. 9: Průběh závislosti efektivního proudu na fázi sepnutí

Z obrázku vidíme známou velikost efektivní hodnoty proudu pro sinusový průběh, tedy hodnotu v čase $t_{\max} = 0$:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \rightarrow \frac{I}{I_{\max}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071. \quad (12)$$

S oddalujícím se časem sepnutí samozřejmě klesá velikost jednotkového efektivního průběhu, která by měla v čase $t_{\min} = 10$ ms hodnotu $I/I_{\max} = 0$.

Analyticky získaný průběh se opět rozdělí na 10 ekvidistantních kroků i . Tyto kroky tvoří krajní hodnoty pro numerický výpočet lineární interpolace daného průběhu. V jednotlivých úsecích nabývá tentokrát lineární průběh odlišných hodnot směrnic a posunů. Směrnice lineárního průběhu:

$$I/I_{\max} = (a_i i + b_i), \quad (13)$$

a_i se vypočítá diferenciální metodou z krajních hodnot časových kroků - viz tabulka 3, a konstanta lineární funkce b_i se stanoví na základě vynulování argumentu lineární funkce.

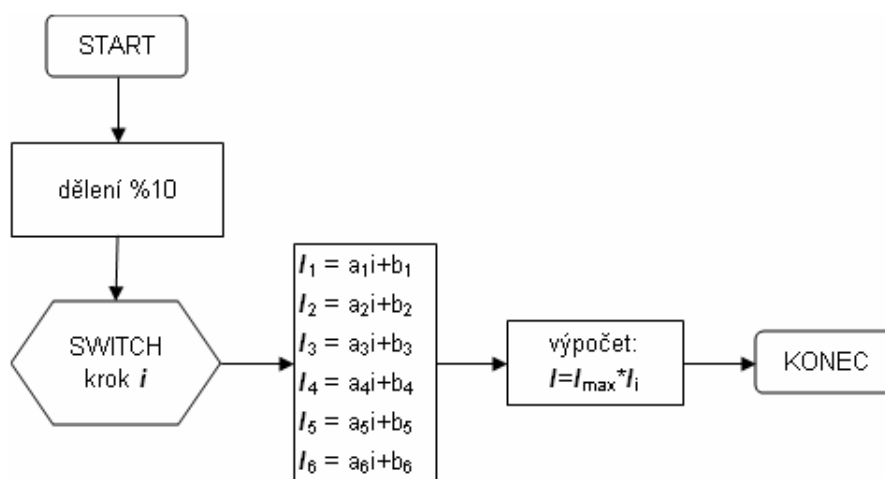
Tabulka 3: Konstanty pro výpočet efektivního proudu

i	interval	a	b
ms	$I/I_{\max} = P$		
0	0,7071	-0,0034	0,7071
1	0,7037	-0,0158	0,7195
2	0,6879	-0,0374	0,7627
3	0,6505	-0,0629	0,8392
4	0,5876	-0,0876	0,9380
5	0,5000	-0,1066	1,0330
6	0,3934	-0,1163	1,0912
7	0,2771	-	-

Z tabulky vyplývá, že mikrokontroléru postačí mít uloženy v paměti hodnoty ze sloupce **a** (směrnice funkce) a ze sloupce **b** (konstanty funkce). Pokud procesor změří velikost maximálního proudu, vybere hodnoty v tabulce 3 na základě znalosti času sepnutí, může vše dosadit do jednoduchého vztahu (13). Pro příklad uveďme, že procesor sepne výstup v čase $t = 2,752$ ms a hodnota amplitudy je $I_{\max} = 1\,350$ mA. Z tabulky zjistíme, že se jedná o funkci na řádku 2, tedy o výpočet hodnoty:

$$I = I_{\max} (a_i i + b_i) = 1350 (-0,0374 * 2,752 + 0,7627) = 890,7 \text{ mA}. \quad (14)$$

Na obrázku 10 je znázorněn vývojový diagram postupu výpočtu efektivního proudu.



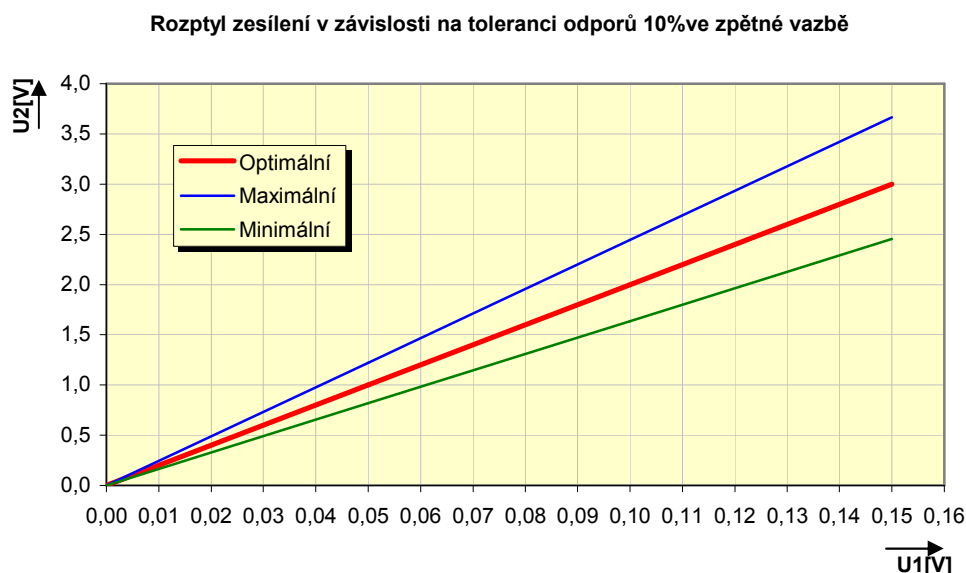
Obr. 10: Vývojový diagram výpočtu efektivního proudu

2.4.3 Kalibrace naměřeného proudu

Výsledek dosažený měřením popsaným v předchozí kapitole vychází z předpokladu, že rezistory zapojené v obvodu měřicího operačního zesilovače mají přesné nominální hodnoty.

Ve skutečnosti mají všechny součástky rozptyl tolerance hodnot. Rezistory použité v tomto systému řízení osvětlení jsou vybrány z tolerancí $\pm 5\%$. Díky tomuto rozptylu hodnot se může výsledek měření lišit až o 10% . Na obrázku 11 je znázorněn graf teoretické závislosti výstupního napětí na vstupním napětí operačního zesilovače. Červený průběh lineární závislosti je optimalizován pro nominální hodnoty rezistorů. Zelený a modrý průběh ukazuje nejhorší případ nejistoty měření. Ten je dán výběrem hodnot rezistorů z opačných konců tolerančního pole. Rezistory, které mají mít stejnou hodnotu, jsou svými hodnotami od sebe vzdáleny právě o 10% .

Lineární posun výsledné hodnoty napětí na operačním zesilovači se může upravit kalibrováním. Vzhledem k tomu, že průběh zesílení na operačním zesilovači je lineární a hodnoty rezistorů ve zpětné vazbě se během provozu nemění, představuje proces kalibrace pouze výpočet lineární konstanty naměřeného výsledku.



Obr. 11: Graf závislosti zesílení na toleranci součástek zpětné vazby

Z průběhu vyplývá, že nominální hodnota zesílení je $K_{\text{nom}} = 20$, což je hodnota vypočítaná v kapitole 2.4.1. Pokud budeme uvažovat nejhorší možnou odchylku výsledku měření, odečteme z grafu tyto hodnoty zesílení: $K_{\text{min}} = 18,09$ a $K_{\text{max}} = 22,1$. Tyto hodnoty představují rozptyl výsledku $\pm 10\%$. Jedná se ovšem jenom o teoretický rozptyl hodnot. Výpočet kalibračního koeficientu se získá ze vztahu:

$$KAL = \frac{HODNOTA_{\text{skutečna}}}{HODNOTA_{\text{merena}}}, \quad (15)$$

kde $HODNOTA_{\text{skutečna}}$ je údaj získaný z multimetru a $HODNOTA_{\text{merena}}$ je údaj získaný AD převodníkem mikrokontroléru. Výsledný údaj efektivního proudu bude:

$$I = KAL \cdot I_{mer} . \quad (16)$$

Ze vztahu (15) můžeme odvodit hodnoty kalibračního koeficientu jako $KAL_{\max} = 1,10$ a $KAL_{\min} = 0,90$. Na měření mohou mít vliv další aspekty, které bohužel nemusí mít lineární závislost na vstupním napětí. Vzhledem k tomu, že měření není prováděno za účelem získání přesné hodnoty ale pouze pro lepší orientaci uživatele ve spotřebě energie, nelineární vlivy se zanedbají a výsledkem bude lineárně interpolovaný průběh.

Kalibrace probíhá tím způsobem, že uživatel změří efektivní hodnotu proudu na sepnutém výstupu. Tuto hodnotu zapíše do editačního okna programu *IQRF* a ta se následně zpracuje podle vztahu (15). Tak se získá kalibrační koeficient. Tímto koeficientem vynásobí program naměřenou hodnotu okamžitého proudu a samozřejmě také hodnotu efektivního proudu. Hodnota kalibračního koeficientu zůstane uložena v počítači až do doby nové kalibrace měření.

2.4.4 Popis výpočtu fázového posuvu

Druhý operační zesilovač OA1G\$1 má za úkol snímat velikost napájecího napětí. Poměr dělicích odporů je ve vztahu:

$$A_{G\$1} = \frac{R_{34}}{R_{12}} = 0,01 , \quad (17)$$

z čehož vyplývá, že uvedený operační zesilovač zeslabuje 100x. Napájecí napětí $U = 240$ V je na výstupu prezentováno jako $U_{\text{out}} = 2,4$ V. Velikost napětí zde ovšem nehraje roli.

Důležitým faktem je, že uvedený výstup je připojen k vývodu RC2, který umožňuje komparaci. Tímto způsobem se zcela korektně z analogového výstupu může stát vstup digitální, pokud se optimálně nastaví mez komparace. Pomocí přerušení od komparátoru na vývodu RC2 se zasynchronizuje vnitřní časování spínače a tím se zahájí odpočet času pro spínání triaků.

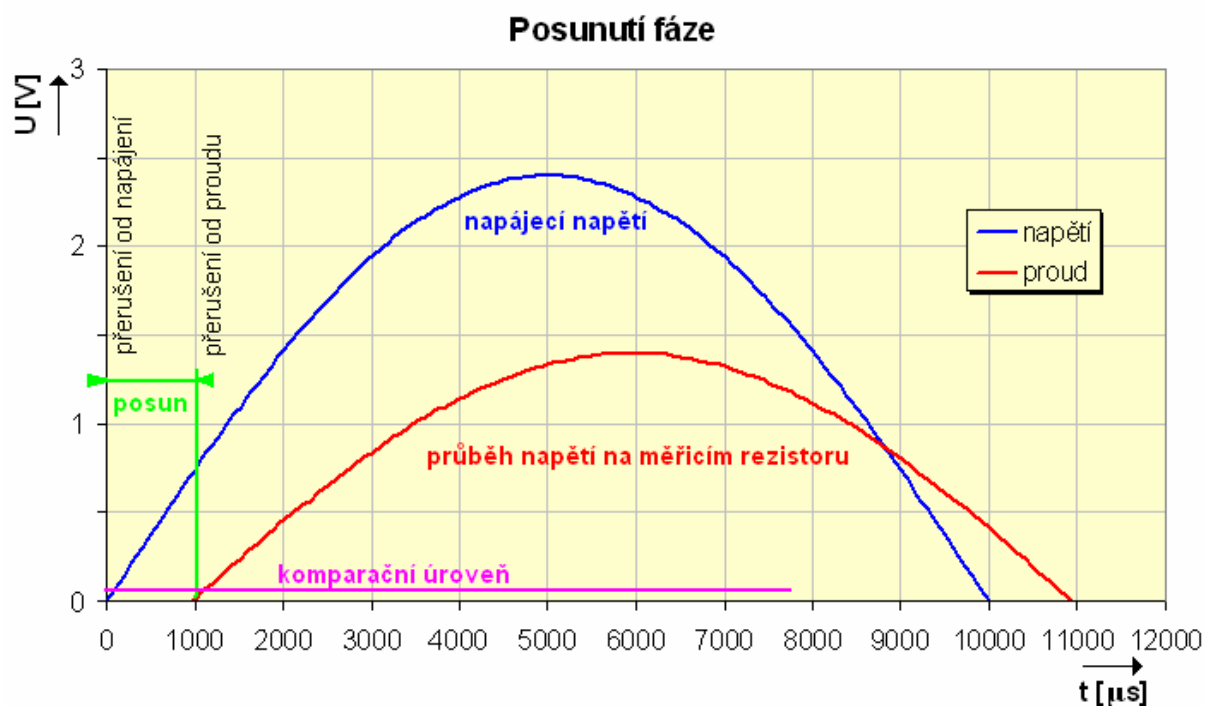
Takto digitalizovaný vstup lze využít i pro měření fázového posunu mezi napětím a proudem a získání hodnoty účinníku. Proud tekoucí přes měřicí rezistory na nich vyvolá úbytek napětí, které má posunutou fázi v závislosti na připojené zátěži. Na obrázku 12 je toto napětí označeno červeně s označením proud. Modrý graf znázorňuje síťové napětí, tedy průběh bez posunutí. Výstup ze zesilovače OA1G\$1 synchronizuje síťové napětí v čase $t_0 = 0$. Výstup ze zesilovače OA1G\$1, porovnávaný obdobným způsobem, způsobí přerušení v okamžiku průchodu proudu nulovou hodnotou, v čase $t_1 = X$. Čas získaný rozdílem obou hodnot vede k výpočtu účinníku:

$$\eta = \cos \varphi = \cos \left(\frac{\pi}{10000} \cdot X \right), \quad (18)$$

kde X je naměřená hodnota prodlevy. Protože půlperioda síťového kmitočtu $f = 50$ Hz, má délku $T/2 = 10$ ms, neboli $10\,000\ \mu\text{s}$, hodnota účinníku je úměrná kosinu poměru mezi časovým posunem a délkou půlperiody.

Programovým zjištěním, zda posun je záporný či kladný, se získá charakter zátěže. Kapacitní nebo induktivní. Dosazením do vzorce (18) dostaneme hodnotu:

$$\eta = \cos\left(\frac{\pi}{10000} \cdot 1000\right) = \cos\left(\frac{\pi}{10}\right) = 0,95. \quad (19)$$

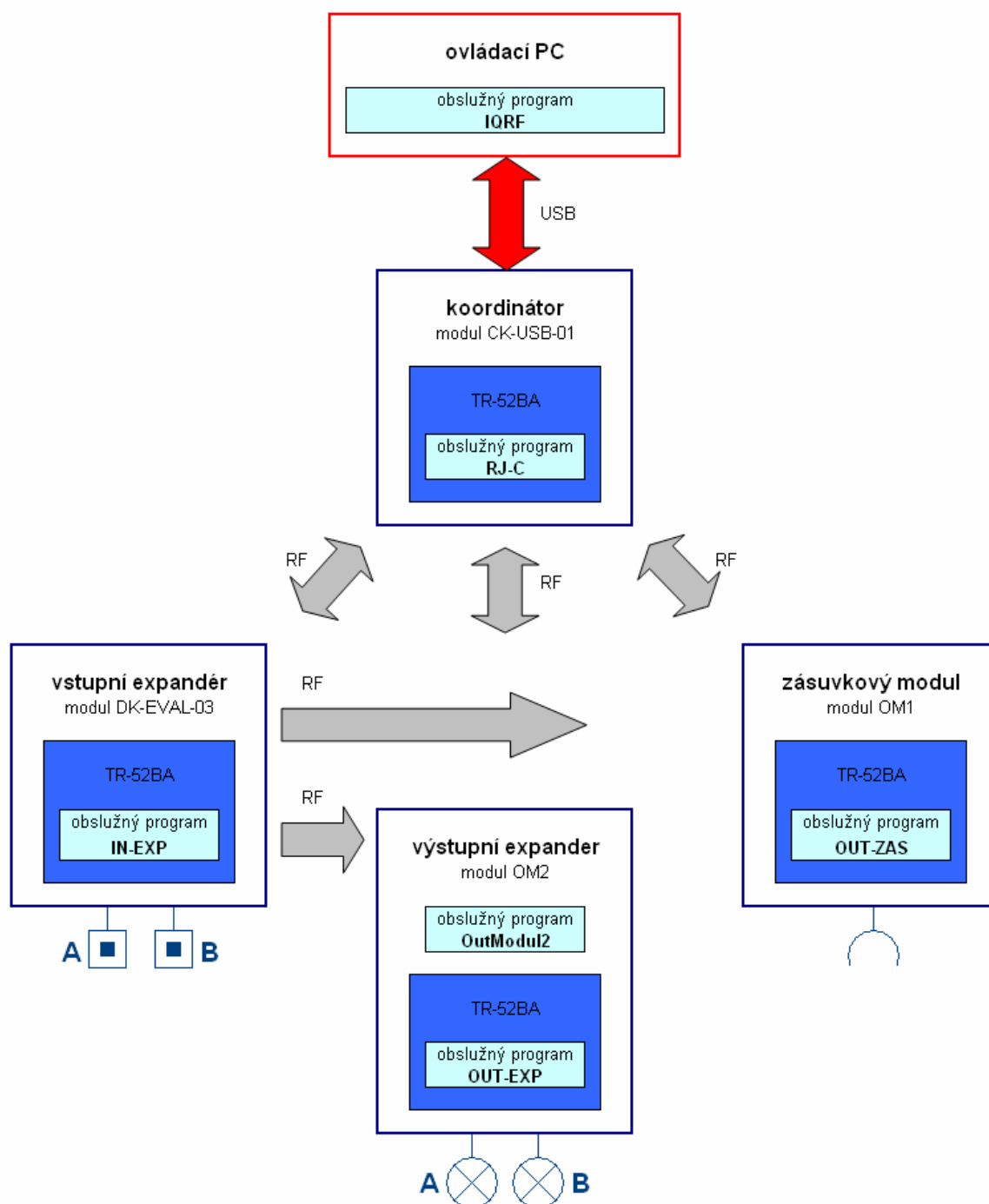


Obr. 12: Ukázka výpočtu a průběhu fázového posunu

Z obrázku 12 dále vyplývá, že proud je zpožděn za svým napětím. To vede ke konstatování, že prvek, který je vřazen do zátěže, má induktivní charakter. Možnost měření účinníku je dána pouze obvodovým řešením. Samotný program v modulu, ani obslužný program v počítači, s touto možností prozatím nepočítají.

3 Systém řízení osvětlení

Cílem diplomové práce bylo vytvoření bezdrátového systému ovládání osvětlení, který využívá pro přenos řídicích signálů platformu IQRF. Blokové schéma celého řešení je nakresleno na obr. 13. Navržené řešení sestává z řídicí jednotky, vstupních a výstupních modulů. Jako komunikační prostředek slouží moduly TR-52BA, které jsou vloženy do vstupních a výstupních komunikačních modulů a také do řídicí jednotky.



Obr. 13: Princip topologie systému pro bezdrátové řízení osvětlení

Řídicí jednotka je vytvořena pomocí vývojového prostředku CK-USB-02. Tato vývojová deska slouží k propojení modulu IQRF a obslužného počítače. V systému bezdrátového řízení osvětlení jsou použity tyto moduly:

- vstupní expandéry - tvořeny modulem DK-EVAL-03 a TR-52BA,
- výstupní expandéry - tvořeny modulem OM1 nebo OM2 a TR-52BA,
- řídicí jednotka - tvořena modulem CK-USB-01 a TR-52BA.

Řídicí jednotka dostává pokyny z ovládacího počítače, tyto pokyny zpracuje a popřípadě pošle bezdrátovou cestou k jednotlivým uzlům sítě. Vstupní expandéry vysílají ovládací povely ke všem ostatním uzlům sítě, na které výstupní moduly reagují. Porovnávají příchozí data od vstupních expandérů s vlastním spínacím profilem a v případě shody zareagují sepnutím výstupu.

Řídicí jednotka slouží k programování ostatních modulů a zároveň slouží k zachytávání jednotlivých povelů a stavových hlášení. Program běžící v této řídicí jednotce je jednoduchý a má za úkol třídit povely. Jedny povely přicházejí z počítače cestou sběrnice USB. Ty se přerozdělují a posílají bezdrátovou cestou jednotlivým komunikačním modulům. Naopak povely přicházející bezdrátovou cestou jsou převáděny a přenášeny do počítače pomocí sběrnice USB.

Na vstupní moduly jsou napojena tlačítka. Jelikož každý vstupní modul má možnost připojení dvou tlačítek (vstupy A, B), jsou dále v textu tyto moduly nazývány jako vstupní expandéry. Vstupní expandéry všechny svoje ovládací povely vysílají celoplošně tzv. generální adresou 0xFF to znamená, že tyto jsou přijaty všemi výstupními moduly v síti IQRF. Tím je zajištěno, že každý vstupní ovládací prvek může ovládat libovolný počet výstupů.

Výstupní moduly jsou dvojího typu. Jeden typ dokáže ovládat dva výstupy, a to formou regulace výkonu (OM2), druhý typ je jednodušší a dokáže ovládat pomocí relé jeden zásuvkový obvod (OM1). Protože modul OM2 dokáže ovládat dva výstupy, je dále nazýván výstupním expandérem. Tento modul navíc dokáže měřit protékající proud a je po obvodové stránce připraven pro měření účinníku zátěže. Ovládání výstupů je provedeno triakovým spínáním s možností časového posunu sepnutí. Modul OM1 dokáže pomocí relé pouze spínat zásuvkový okruh. Není zde provedeno řízení vnitřního času a jeho synchronizace se síťovým průběhem, proto není potřeba v tomto modulu další mikrokontrolér. Ovládání výstupu je řízeno modulem TR-52BA.

V obou typech výstupních modulů je uložen tzv. spínací profil. Ten je tvořen maticí obsahující 2 x 8 buněk. V těchto buňkách jsou uloženy adresy vstupních expandérů, na které se má reagovat spínáním. Každý výstup (A i B) je tedy možné ovládat až osmi vstupy. Přijatý povel je vždy porovnán s touto maticí a při nalezení shody je proveden příkaz na patřičném

výstupu. Tak je zajištěno, že kterýkoliv jeden výstup může být ovládán maximálně osmi vstupy a zároveň kterýkoliv vstup může ovládat libovolný počet výstupů.

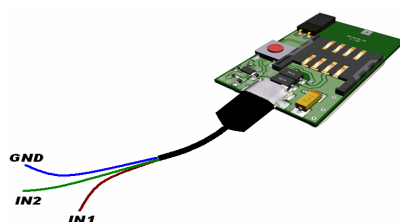
Každý z externích modulů, tedy vstupních i výstupních, posílá po určitém časovém úseku tzv. stavové hlášení. Toto hlášení obsahuje informace o stavu vstupů či výstupů, informace o procházejícím proudu, stavu baterií nebo teplotě na modulu TR-52BA. Program v obslužném počítači, má ke každému modulu přiřazeno systémové počítadlo stavu komunikace. Pokud do určité doby nepřijde z externího modulu stavové hlášení, je uživateli předána informace o výpadku komunikace. Ostatní stavy modulů se zaznamenávají do příslušného okna programu a zároveň se zapisují do souboru pro pozdější vyhodnocení a zpracování.

V následující části kapitoly budou podrobně popsány jednotlivé moduly systému. Popis modulů bude proveden zejména s ohledem na obvodovou část. Budou popsány jednotlivé obvodové bloky s použitím výpočtů parametrů a hodnot součástek. Programová část všech bloků systému je popsána v dalších podkapitolách.

3.1 Vstupní expandéry

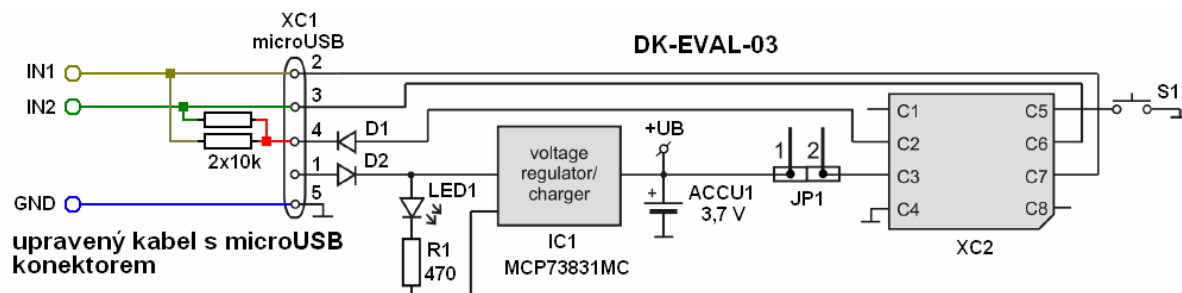
Ovládací prvky v systému řízení osvětlení jsou nazývány vstupními expandéry. Ty slouží pro snímání stavu dvou vstupů a pomocí platformy IQRF předávají povely do sítě IQRF. Celý systém je spínán elektronicky, a proto je vhodnější ovládací prostředek tlačítko než spínač. Obslužný program *IN-EXP*, běžící na modulu TR-52BA, umí vyhodnocovat délku stisku a tím ovládat stmívač příslušného výstupního expandéru.

Vstupní expandéry jsou tvořeny moduly DK-EVAL-03, do kterých jsou vloženy komunikační moduly TR-52BA- viz obrázek 14. Vývojové desky DK-EVAL-03 pro své malé rozměry plně vyhovují potřebám vstupních modulů a není tedy potřeba vytvářet konstrukci stejného typu. Modul DK-EVAL-03 neobsahuje žádné další redundantní obvody. Za účelem propojení komunikačního modulu s ovládacími tlačítky je pouze upraven kabel s konektorem microUSB dle schématu na obrázku 15. Na tento kabel se mohou napojit dvě ovládací tlačítka, která jsou přes zvedací rezistory o hodnotě 10 k Ω připojena na kladný potenciál napájení. Při aktivaci některého z tlačítek se zahájí měření času stisku. Pokud doba stisku přesáhne 2 sekundy, vstupní modul vyšle informaci o dlouhém stisku a příslušný výstup zahájí proces stmívání či rozsvěcování.



Obr. 14: Modul DK-EVAL-03 s přípojným kabelem

Jestliže se stisk tlačítka opustí v kratší době, vyšle vstupní modul informaci o přepnutí a příslušný výstup může pouze nespojitě přepnout stav. Pokud je tlačítko drženo v procesu regulace (tedy stmívání či rozsvěcení), jeho opuštěním se hodnota regulovaného výstupu přestane měnit a výstup si pamatuje hodnotu v okamžiku opuštění stisku.



Obr. 15: Schéma zapojení vstupního modulu s upraveným kabelem

Jelikož většinou u bezdrátových tlačítek nebývá přítomno síťové napájení, jsou vstupní expandéry navrženy pro bateriový provoz. Minimalizaci spotřeby je přizpůsobena obvodová část i programové vybavení. Modul se nachází většinu času v režimu spánku, což představuje spotřebu v rozsahu 2 až 4 μA . Z tohoto stavu se probouzí na podnět časovače za dobu přibližně 1 sekunda. Po dosažení doby přibližně o délce 20 minut, se načte stav napájení modulu a hodnota jeho teploty. Tato informace se pošle do řídicí jednotky jako stavové hlášení. Řídicí jednotka předá hlášení obslužnému programu v počítači. Uživatel je tak informován o stavu komunikace, teploty a napájení a může včas zareagovat na změnu hodnoty překračující rámec běžných provozních podmínek. Na modulu DK-EVAL-03 je umístěno tlačítko, které slouží k odhlášení modulu ze sítě IQRf. Pomocí stisku tlačítka v okamžiku připojení modulu k napájení, proběhne proces odhlášení modulu ze sítě IQRf. Pokud je modul ohlášen ze sítě, automaticky čeká ve smyčce na přihlášení a není schopen žádného přenosu dat.

Podrobný popis obvodového řešení modulu je uveden v katalogovém listu výrobce [6]. Vzhledem k tomu, že impedance vstupního pinu mikrokontroléru je velmi vysoká, proud protékající přes zvedací odpor v klidu je v řádu mikroampérů. Při sepnutí tlačítka protéká zvedacím odporem proud o hodnotě okolo 0,33 mA. Tato hodnota proudu není kritická, pokud přihlídneme ke spotřebě modulu, která je v rozsahu 2 až 24 mA.

3.2 Výstupní expandéry

Akční členy použité v tomto systému jsou dvojího druhu. V této kapitole je popsán výstupní modul, který ovládá dva výstupy. Nazývá se proto výstupní expandér. Oba dva výstupy mohou jednoduše přepínat svůj stav, nebo spínat regulovaně s oddálením sepnutí

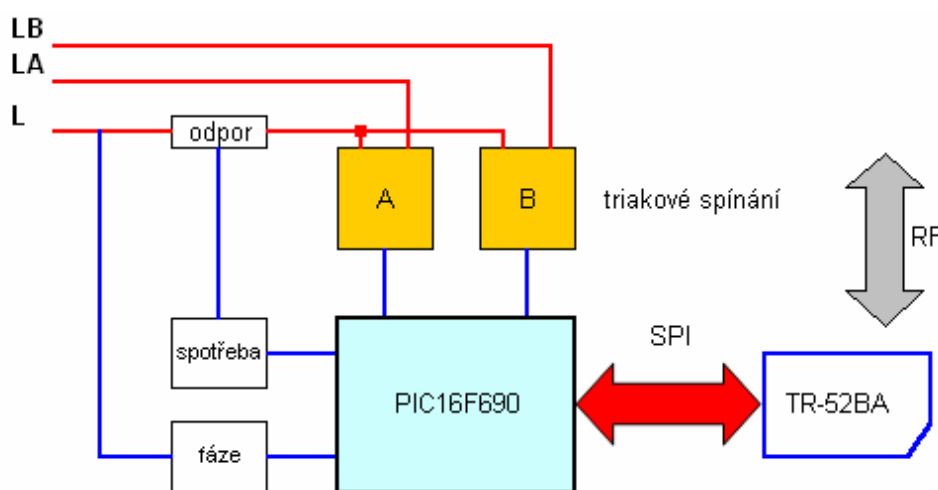
spínače. Spínání síťového napětí je realizováno pomocí triaků, které jsou ovládány optooddělovači.

Výstupní expandéry jsou řízeny mikrokontrolérem PIC16F690, na kterém běží program *OutModul2*. K tomuto modulu je připojen TR-52BA, s programem *OUT-EXP*. Procesor PIC16F690 komunikuje s modulem TR-52BA pomocí sběrnice SPI protokolem, který je definován výrobcem IQRF. Na obrázku 16 je znázorněn výstupní modul OM2.



Obr. 16: Zobrazení výstupního expandéru

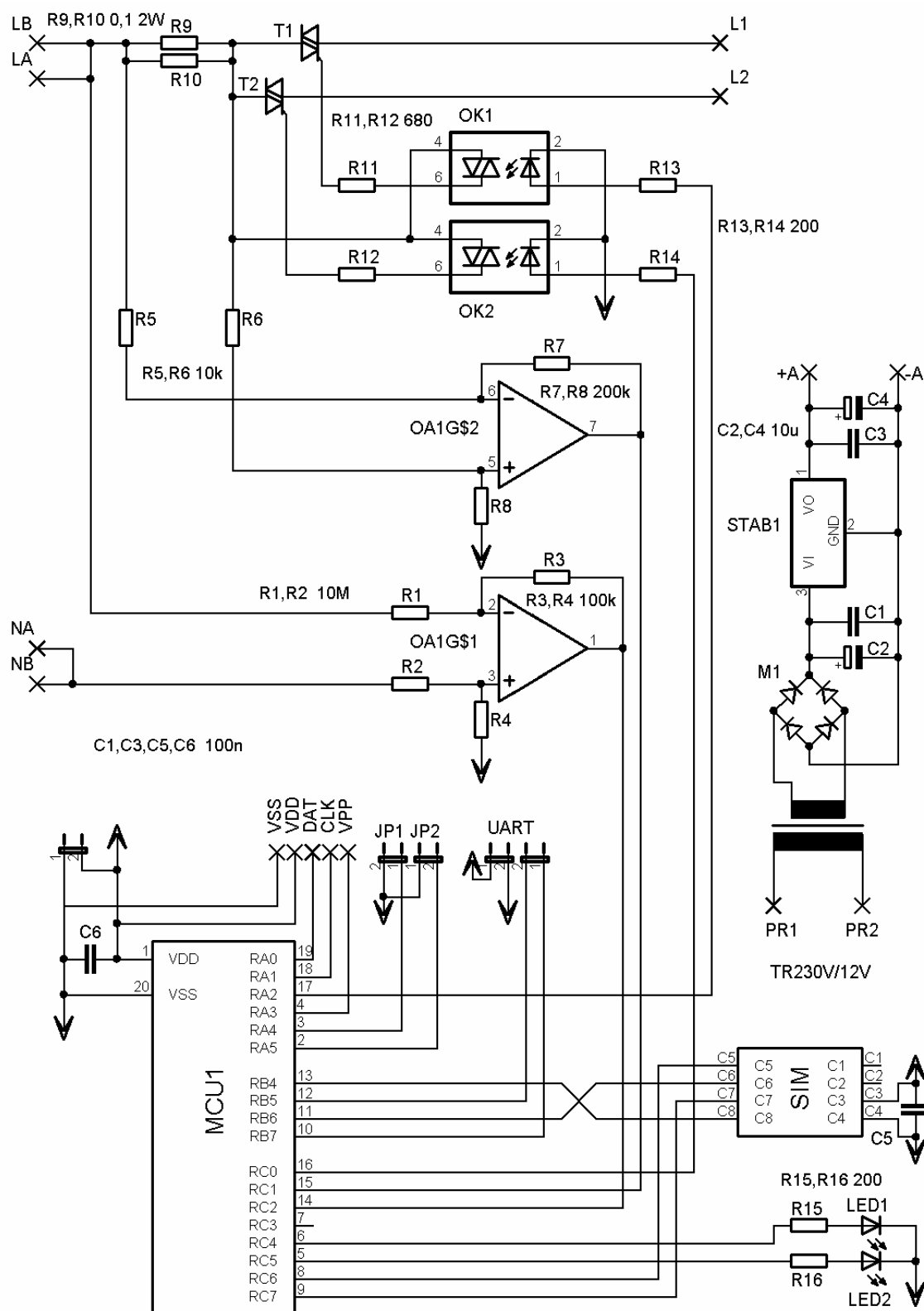
Výstupní expandéry nejsou tvořeny na rozdíl od vstupních expandérů vývojovým prostředkem, ale jsou vytvořeny zákaznický jako modul OM2. Každý z obou výstupů může mít jinou hodnotu spínání a dokonce každý z výstupů může být stmíván či rozsvěcován ve stejnou dobu s různými stavy fáze.



Obr. 17: Blokové schéma modulu OM2

Na rozdíl od vstupních modulů, kde bateriové napájení je žádoucí, není u výstupních modulů většinou požadováno nezávislé napájení. Je to z důvodu přítomnosti síťového napětí, které se má spínat či výkonově ovládat. Z toho důvodu není program běžící v tomto modulu uváděn do stavu spánku. To není vhodné i z toho důvodu, že příjem datového rámce IQRF neběží na pozadí programu a nemůže být tedy vykonáván, pokud je program v režimu spánku.

Pokud by měl být v budoucnu modul napájen z baterie, její životnost by byla mnohem kratší, než životnost baterie u vstupních expandérů. Na obrázku 17 je znázorněno blokové schéma a na obrázku 18 je kompletní schéma výstupního modulu OM2.



Obr. 18: Schéma modulu OM2

Z uvedeného schématu je patrné, že všechny procesy ovládání expandéru je řízen procesorem a bezdrátovou komunikaci zajišťuje program běžící v modulu TR-52BA. Mikrokontrolér PIC16F690 řídí vnitřní časování pomocí synchronizace průchodu síťového napětí nulovou úrovní. V jistých časových okamžicích procesor měří amplitudu napětí na předřadném odporu a tím dokáže změřit procházející proud. Ten se pomocí výše popsaného algoritmu převádí na hodnotu efektivního proudu s ohledem na posunutí fáze spínání. Oba tyto procesy, tedy synchronizaci a měření spotřeby, zajišťuje operační zesilovač. Naměřené hodnoty a stav výstupů jsou v určitých časových okamžicích posílány prostřednictvím TR-52BA do řídicí jednotky a odsud distribuovány ke zpracování do obslužného programu v počítači. Uživatel tak má přehled o stavu výstupů, hodnotě amplitudy proudu, hodnotě efektivního proudu a stavu teploty.

3.2.1 Specifikace parametrů výstupních expandérů

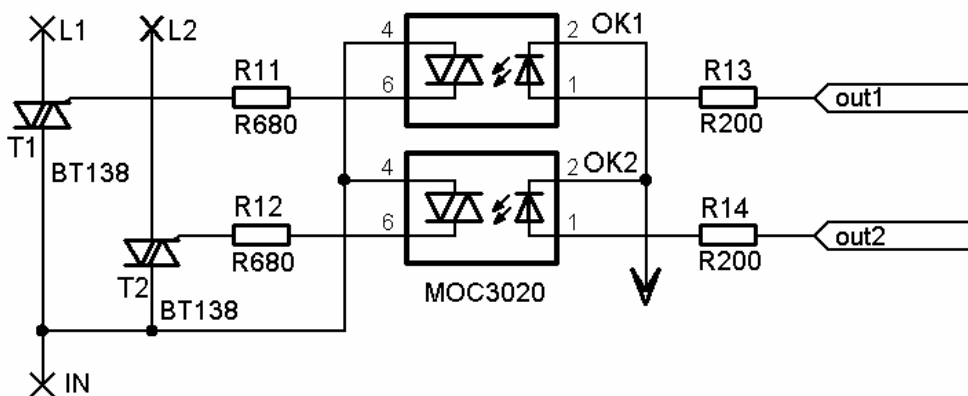
Ze schématu na obrázku 18 je patrné, že v modulu OM2 je použito několik obvodových principů. Jedná se především o měření proudu, synchronizace fáze se síťovým kmitočtem, řízení výstupů, řešení vstupních a výstupních periférií a propoj mikrokontroléru s komunikačním modulem TR-52BA pomocí sběrnice SPI. Celý výstupní modul je koncipován tak, aby jej bylo možné umístit v lištové instalační krabici LK 80x28R. Protože zdrojová část je poměrně rozměrná díky použitému transformátoru, je tato část řešena na samostatné desce plošných spojů. Vstupní a výstupní síťová část je připojena do modulu pomocí svorkovnice WAGO. Protože se jedná o funkční vzorek, je napájecí zdroj řešen poněkud robustně. Za účelem zefektivnění rozmístění součástek na desce by se napájení zřejmě dalo řešit spínaným zdrojem, který nezabírá tolik prostoru.

Měření proudu a synchronizace fáze

Tyto kroky výpočtu byly vysvětleny v teoretickém úvodu kapitoly 2.4.2. Prakticky jsou realizovány pomocí dvojitého operačního zesilovače OA1 G\$1 a G\$2.

Ovládání výstupů

Zapojení triaků v tomto modulu je téměř katalogové a vzhledem k nutnosti oddělení síťového napětí od řídicích obvodů bylo nutné použít pro řízení triaků optoodělovače. Na obrázku 19 je kompletní schéma řídicího obvodu ovládající výstupy.



Obr. 19: Zapojení triakových obvodů OM2

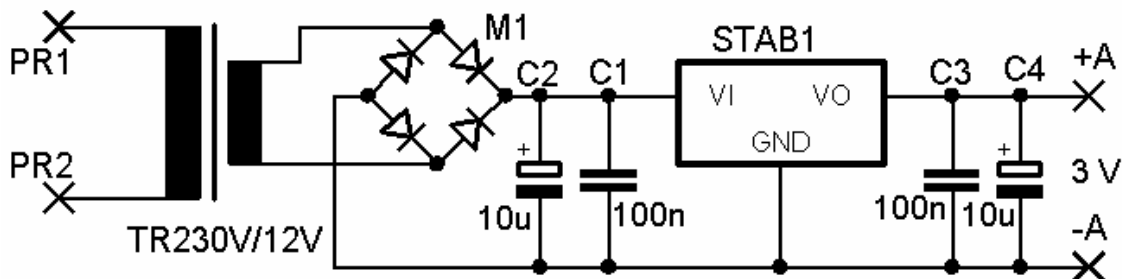
Ovládací úroveň pro diodu LED optooddělovače je snížena předřadným rezistorem. Podle výrobce se optimální spínací proud pohybuje okolo hodnoty $I_{Fopt} = 10 \text{ mA}$. Při této hodnotě je úbytek na sepnuté LED diodě okolo $U_F = 1,2 \text{ V}$. To vede ke vztahu:

$$R_{in} = \frac{U_H - U_F}{I_F} = \frac{3,2 - 1,2}{0,01} = 200 \Omega. \quad (20)$$

Při hodnotě vstupního rezistoru $R_{in} = 200 \Omega$ optooddělovač spolehlivě sepne. Hodnoty výstupních rezistorů jsou o něco málo sníženy oproti katalogovému zapojení, kde se doporučuje sériové spojení rezistorů o hodnotě 380Ω a 470Ω . Katalogové zapojení obsahuje ještě propojení kapacity na střed tohoto děliče, kvůli zrychlení spínacích procesů. Toto zde neplatí, jelikož se jedná o rozptyl v časovém pásmu v rozmezí 0 až 6,4 ms.

Zdroj

Modul OM2 (na obrázku 20) je konstruován tak, aby byl napájen napětím $U_{CC} = 3,3\text{V}$ za pomoci obvodu stabilizátoru HT7133A. Podle doporučení výrobce je maximální hodnota vstupního napájení $U_{in} = 24 \text{ V}$, maximální hodnota výstupního proudu $I_{out} = 30 \text{ mA}$ a maximální ztrátový výkon $P_{tot} = 200 \text{ mW}$.



Obr. 20: Schéma napájecího zdroje OM2

Spotřeba modulu OM2 se pohybuje okolo 8 mA, při vysílání hodnota může dosahovat až velikosti 30 mA. Tento stav netrvá nikdy déle než 2,5 ms, ale přesto je ztrátový výkon na stabilizátoru po tuto krátkou dobu:

$$P_{totMAX} = (U_{out} - U_{in})I_{outMAX} \approx 12 \cdot 0,03 = 360mW. \quad (21)$$

pozn. Napětí na transformátoru ovšem nedosahuje hodnoty 12V, ale více. Tato hodnota je navíc ještě zvýšena filtračním kondenzátorem. Hodnota dosazená do vztahu (19), je získána na základě měření. V běžném provozu se pohybuje ztrátový výkon okolo hodnoty:

$$P_{tot} = (U_{out} - U_{in})I_{out} \approx 12 \cdot 0,0083 = 100mW. \quad (22)$$

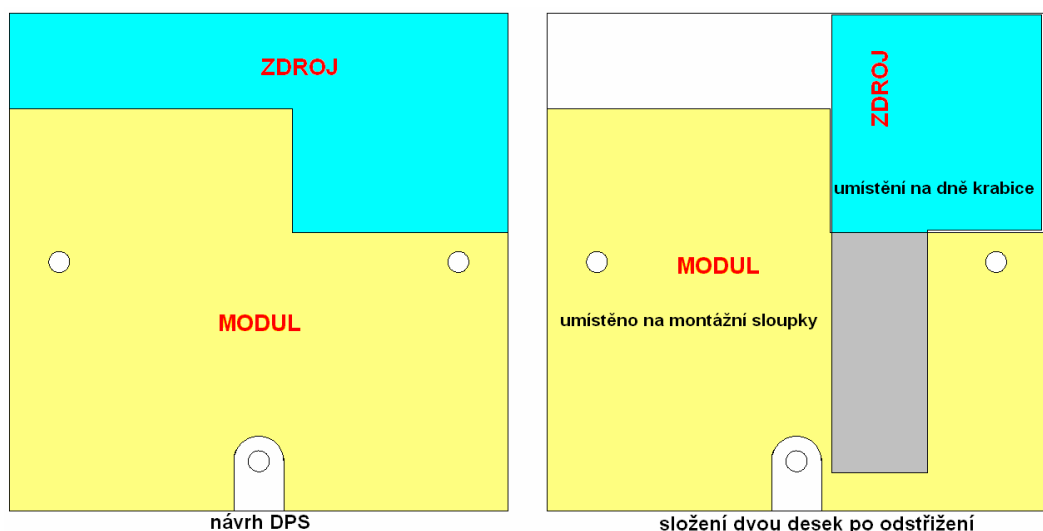
Hodnota malého ztrátového výkonu nijak významně nepřispívá k přehřívání stabilizátoru. Navíc takto koncipovaný lineární zdroj je navržen z hlediska jednoduchosti. V běžné praxi by se určitě použil zdroj, který by nebyl tak prostorově náročný.

Ostatní obvody

Z obvodového hlediska nejméně významné obvody jsou výstupy diod LED, propojení mikrokontroléru s modulem TR-52BA pomocí sběrnice SPI a zapojení "jumperů" - ty zde nejsou využívány. Proud diodou LED je počítán stejně jako v případě vstupu do oddělovače, a to pomocí vztahu (18). Z něj vyplývá, že proud diodou LED má hodnotu v úrovni $I_F = 10,5 \text{ mA}$.

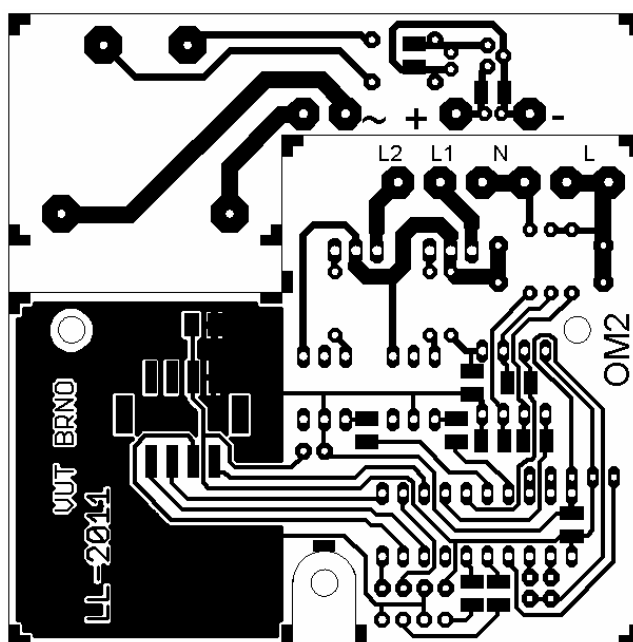
3.2.2 Desky plošného spoje DPS modulu OM2

Návrh všech částí DPS je vytvořen programem EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*), verze 4.15 pro Windows - Light Edition. Modul OM2 je koncipován pro vložení do krabičky LK 80 x 28R. Protože napájecí transformátor je mnohem vyšší než ostatní součástky a navíc by se nevešel v jedné rovině do prostoru 76 x 76 mm, musí být spolu s celým stabilizovaným zdrojem umístěn vespod krabičky a zbývající část modulu je uchycena na montážních sloupcích. Na obrázku 21 je znázorněno rozložení dvou desek do lištové krabičky. Deska zdroje se po odštížení a montáži vloží částečně pod desku modulu.



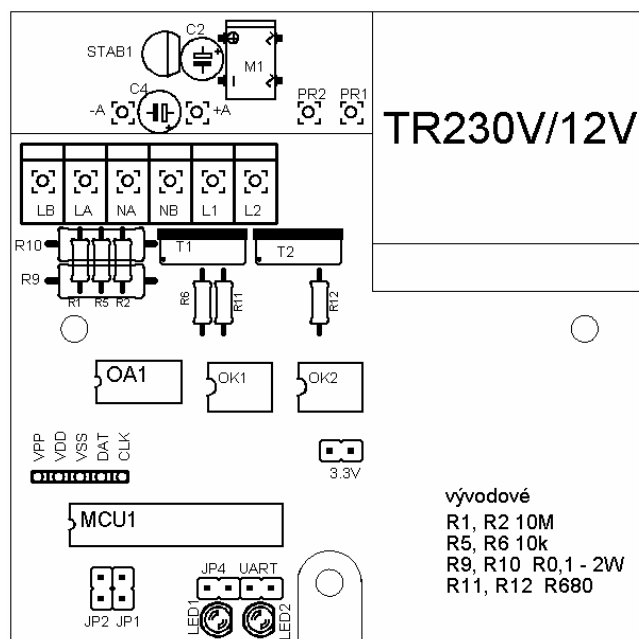
Obr. 21: Návrh umístění desek do krabice LK80x28R po odstřížení

Deska DPS je navržena v jednovrstvém provedení s montáží jak vývodového typu, tak pomocí součástek SMD na spodní straně. Rozměry desky jsou 76,2 x 76,2 mm - viz obr. 22.



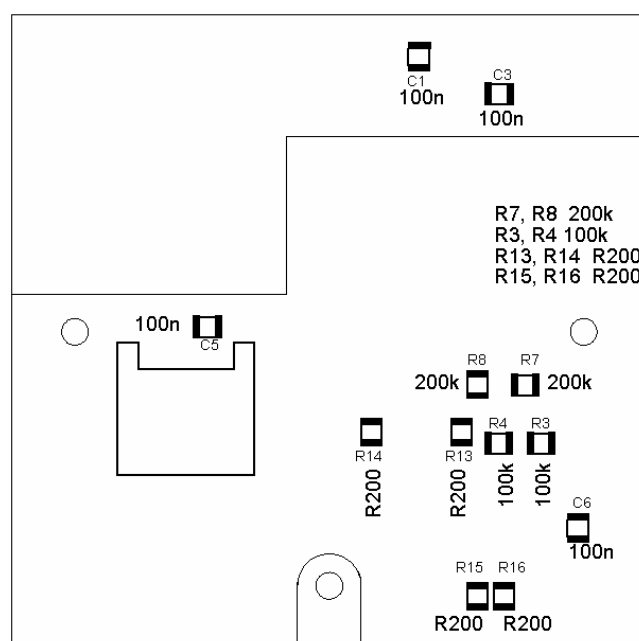
Obr. 22: Spodní strana desky OM2

Protože se na desce DPS nacházejí dvě napěťové soustavy, je návrh koncipován tak, aby síťové napětí pokrývalo co nejmenší plochu a délky vodičů. Z toho důvodu se spínací a měřicí obvody nacházejí pouze v levé horní části DPS ihned vedle svorkovnic WAGO. Pravá spodní část je vyhrazena pro modul TR-52BA, který je umístěn co nejdále od síťové části, ale také od procesoru PIC16F690. Na obrázcích 23 a 24 jsou zobrazeny osazovací nákresy.



Obr. 23: Osazovací plán vrchní strany OM2

Vstupní strana zdroje je zapojena do svorkovnice LA/LB a NA/NB a výstupní strana je připojena do konektoru 3,3V. Předřadné rezistory R10 a R9 na desce modulu jsou osazeny nad vstupními rezistory diferenčních zesilovačů. Předřadné rezistory diferenčních zesilovačů, které se připojují k síťovému napětí, jsou voleny ve vývodovém provedení, protože je u nich splněna podmínka trvalého napětí vyšší, než je síťové (400 V). U SMD součástek je trvalé napětí nižší (obvykle 50 - 200V). Ve skutečnosti není na žádném z rezistorů rozsah celého síťového napětí, ale pro zajištění vyšší ochrany jsem volil tuto variantu.



Obr. 24: Osazovací plán spodní strany OM2

Ostatní rezistory a také kondenzátory jsou v provedení SMD o velikosti 1206. Deska je provedena bez potisku a bez dalších technologických vrstev.

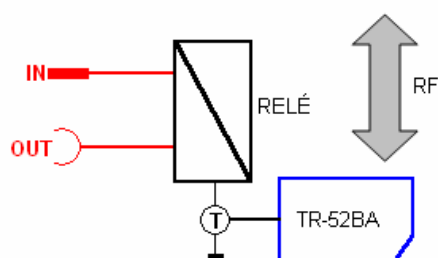
V tabulce 4 jsou vypsány všechny hodnoty použitých součástek pro modul OM2.

Tabulka 4: Seznam součástek modulu OM2

	NÁZEV	POPIS	HODNOTY
1	MCU1	8-bitový CMOS procesor	PIC16F690-I/P
2	OA1	dvojitý operační zesilovač	MCP602-I/P
3	OK1, OK2	optooddělovač 400V	MOC3020
4	T1, T2	triak 800V, 12A	BT138/800
5	L1,L2,LA,LB,NA,NB	svorkovnice "WAGO" RM=5	ARK306 3P
6	R1, R2	rezistor metalizovaný 0,6W	RR 10M
7	R3, R4	rezistor SMD 0,25W	R1206 100K
8	R5, R6	rezistor metalizovaný 0,6W	RR 10K
9	R7, R8	rezistor SMD 0,25W	R1206 200K
10	R9, R10	rezistor metalizovaný 2W	RR W2 E 0,1
11	R11, R12	rezistor metalizovaný 0,6W	RR 680R
12	R13, R14	rezistor SMD 0,25W	R1206 200R
13	R15, R16	rezistor SMD 0,25W	R1206 200R
14	C1, C3, C5, C6	keramický kondenzátor SMD	CK1206 100N/50V
15	C2, C4	elektrolyt. radiální kondenzátor	E10M/25VM
16	SIM	patice pro SIM kartu	
17	LED1, LED2	LED diody 3mm	
18	JP1,JP2, UART	konektorové kolíky lámací	S2G
19	STAB1	lineární stabilizátor 3,3V	HT7133A
20	M1	diodový můstek 380V/1A	B380C1000DIL
21	TR230V/12V	transformátor P = 1,9 VA	TRHEI019-1X12V

3.3 Zásuvkové moduly

Druhý z řady výstupních modulů je mnohem jednodušší jednak po obvodové stránce, ale také po stránce programové. Tento modul dokáže pouze sepnout svůj výstup (v tomto případě elektrickou zásuvku) na pokyn bezdrátového modulu. Protože systém nemusí řešit spínání ve fázi, popřípadě automatické stmívání či rozsvěcování, není potřeba další mikrokontrolér. Komunikační modul TR-52BA dokáže pomocí svých výstupů spínat výkonové relé pomocí tranzistoru. V obvodu jsou ještě některé další prvky jako diody LED, výstup stabilizovaného napětí apod. Na obrázku č. 25 je blokové schéma zásuvkového modulu.



Obr. 25: Blokové schéma zásuvkového modulu

The diagram shows a 12V battery (L1) being charged by a 12V 10Ah battery. The charging circuit includes a 230V 12V transformer (TR230V-12V) connected to a bridge rectifier (B1). The rectified output is filtered by capacitors C2 and C1. The voltage is regulated by a 7812 voltage regulator (STAB1) to provide a constant 12V output (VO) to the battery. The charging current is controlled by a microcontroller (SIM101) which monitors the battery voltage (C5) and controls the charging relay (K1) and the LED indicator (LED1). The microcontroller is connected to a 12V supply (C1, C2, C3, C4) and a 12V supply (C5). The microcontroller also controls the relay (K1) and the LED indicator (LED1).

38

Napájecí zdroj je totožný s modulem OM2. Nejdůležitější částí zásuvkového obvodu je reléový spínač. Jedná se o propojení vývodu mikrokontroléru v modulu TR-52BA s tranzistorem, který spíná výkonové relé. Ostatní obvody jako jumpéry a diody LED jsou pouze podpůrné a v nynější programové verzi nemají uplatnění.

3.3.1 Specifikace parametrů zásuvkových modulů

Jedním z nejdůležitějších obvodových prvků zásuvkového modulu OM1 je tranzistorový spínač relé.

Tranzistorový spínač

Pokud modul TR-52BA rozhodne o sepnutí zásuvky, nastaví vývod na pinu C8 do úrovně log. 1. Tím se sepne tranzistor, v jehož výstupní větvi je zapojeno relé. Sepnutým tranzistorem protéká proud, který způsobí sepnutí relé zapojené do kolektoru. Pro spolehlivý návrh tranzistorového spínače je nutná znalost protékajícího proudu cívkou relé. Z katalogového listu relé vyplývá, že odpor cívky má velikost $R_{civky} = 215 \Omega$. Proud protékající cívkou má velikost:

$$I_{civky} = \frac{U_{napajeni}}{R_{civky}} = \frac{12}{215} = 56 \text{ mA} \quad (23)$$

Na obrázku 27 je znázorněn tranzistorový spínač s obvodem relé v kolektoru. Spínací tranzistor je typu NPN s označením BC846. Tranzistorem v saturaci může protékat kolektorový proud $I_{CSAT} = 100 \text{ mA}$, při vstupním proudu $I_{BSAT} = 5 \text{ mA}$. Vstupní napětí je $U_{BESAT} = 0,9 \text{ V}$ a napětí na výstupu tranzistoru v saturovaném režimu je $U_{CESAT} = 0,6 \text{ V}$. Pokud zvolíme stav nasycení pro tranzistorový spínač, dosáhneme nejmenšího napětí v sepnutém stavu, což vede k nejnižšímu ztrátovému výkonu a tím i k nejmenšímu zahřívání tranzistoru. Aby byl vstupní proud do báze o velikosti $I_B = 5 \text{ mA}$, musí platit:

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_B} = \frac{3,3 - 0,9}{5 \cdot 10^{-3}} = 480 \Omega. \quad (24)$$

Nejbližší z řady SMD rezistorů je 510R, v tom případě bude proud protékající do báze dán vztahem vycházejícím ze (22):

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_1} = \frac{3,3 - 0,9}{510} = 4,7 \text{ mA}. \quad (25)$$

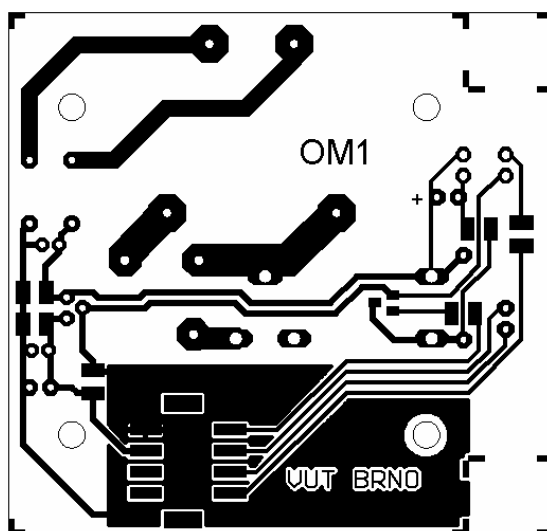
Proud cívkou relé i diodou LED může nabývat hodnot okolo $I_C = 70 \text{ mA}$. Při tomto proudu a zároveň při saturačním napětí $U_{CESAT} = 0,6 \text{ V}$ je ztrátový výkon na sepnutém tranzistoru roven vztahu:

$$P_{tot} = U_{CESAT} \cdot I_C = 0,6 \cdot 0,07 = 42 \text{ mW}. \quad (26)$$

Tato hodnota je nízká a významně neovlivní nárůst teploty modulu. Paralelně s cívkou relé je připojena dioda v tzv. antiparalelním zapojení. Ta je tam z důvodu eliminace napět'ových špiček při vypínání relé.

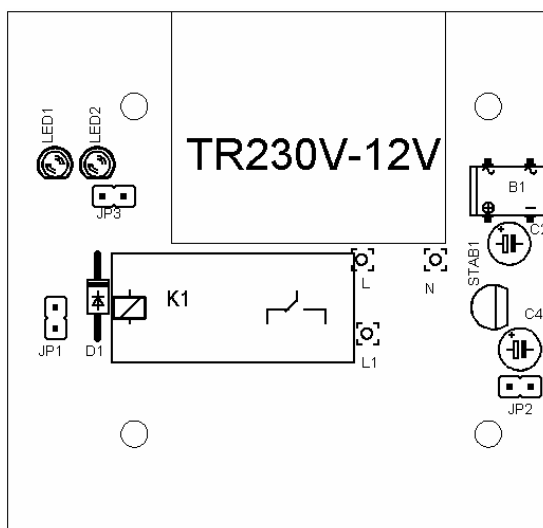
3.3.2 Desky plošného spoje zásuvkového modulu

Tento modul je koncipován pro vložení do univerzální krabičky zásuvkového odpojovače. Tato krabička má dostatečně velké rozměry, aby do ní mohl být vložen poměrně rozměrný modul. Z toho důvodu je návrh desky proveden v jednovrstvém provedení. Na obrázku 28 je znázorněna spodní strana desky plošných spojů ze strany vodičů.



Obr. 28: Spodní strana desky OM1

Deska zásuvkového modulu je označena názvem OM1 (Out Modul s jedním výstupem). Na obrázcích 29 a 30 jsou zobrazeny osazovací nákresy.

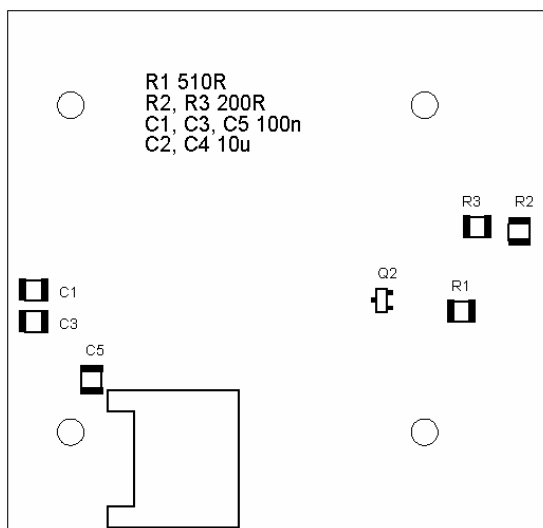


Obr. 29: Osazovací plán vrchní strany desky modulu OM1

Modul OM1 je propojen se svým okolím pomocí tří vodičů:

- přívodní fáze (hnědý),
- vypínaná fáze (červený),
- pracovní vodič (modrý).

Ochranný vodič (zelenožlutý) se pouze propojí ze vstupní zdířky do výstupního kolíku zásuvky. Na obrázku 30 jsou naznačeny vývody jednotlivých vodičů.



Obr. 30: Osazovací plán spodní strany desky modulu OM1

Všechny součástky připojené k síťovému napětí, jsou ve vývodovém provedení. Ostatní diskrétní součástky jsou v provedení SMD (velikost 1206). Jedná se o filtrační kondenzátory, předřadné odpory k LED diodám a k tranzistoru a tranzistor samotný. Tyto součástky jsou umístěny na spodní straně desky DPS zásuvkového modulu. V tabulce č. 5 jsou uvedeny typy použitých součástek pro zásuvkový modul.

Tabulka 5: Seznam součástek zásuvkového modulu

	NÁZEV	POPIS	HODNOTY
1	STAB1	lineární stabilizátor 3,3V	HT7133A
2	B1	diodový můstek 380V/1A	B380C1000DIL
3	TR230V/12V	transformátor P = 1,9 VA	TRHEI019-1X12V
4	K1	Relé 12V, kontakty 10A	F4031-12
5	R1	rezistor SMD 0,25W	R1206 100K
6	R2, R3	rezistor SMD 0,25W	R1206 100K
7	C1, C3, C5	keramický kondenzátor SMD	CK1206 100N/50V
8	C2, C4	elektrolyt. radiální kondenzátor	E10M/25VM
9	D1	dioda DO41, 1A	1N4007
10	LED1, LED2	LED diody 3mm	LED 150MCD
11	Q2	tranzistor NPN SMD SOT23	BC846B
12	JP1,JP2, JP3	konektorové kolíky lámací	S2G
13	SIM	patice pro SIM kartu	

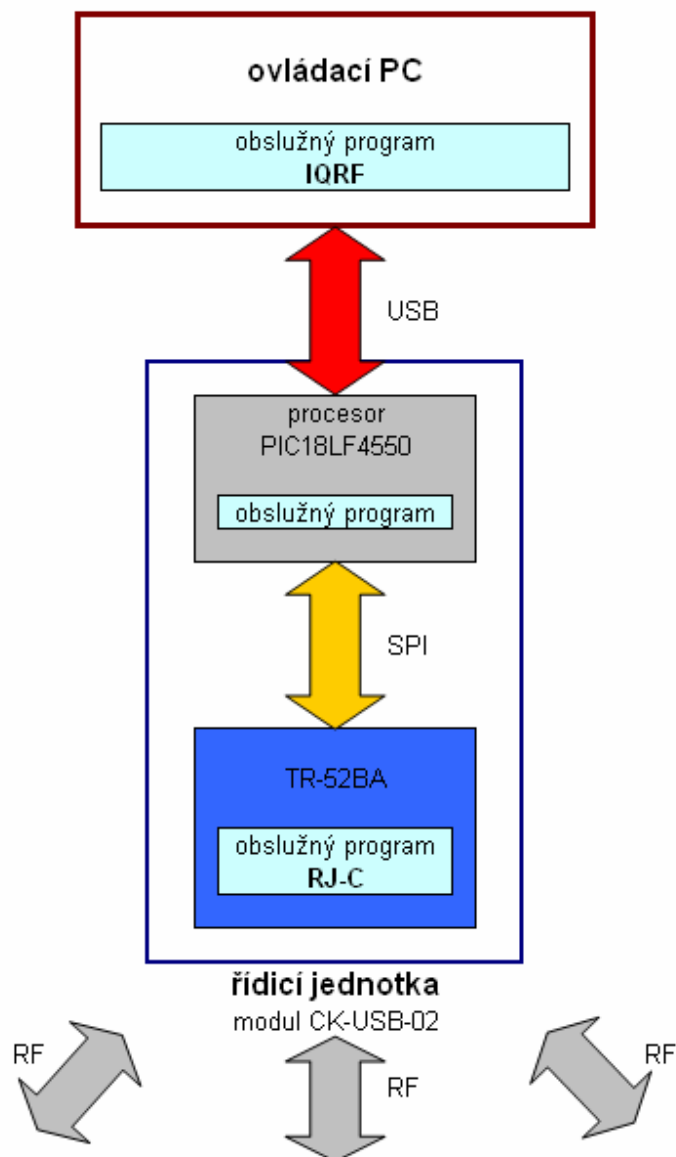
3.4 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka tvoří rozhraní mezi uživatelem a systémem, jejímž prostřednictvím lze programovat výstupní moduly sítě. Zprostředkovává hlášení stavu všech ostatních periférií sítě a tvoří odposlech systému, který přijaté informace předává do počítače. Prostřednictvím řídicí jednotky může uživatel z počítače ovládat jednotlivé výstupní moduly a může nastavovat celý systém. Na obrázku 31 je fotografie řídicí jednotky.



Obr. 31: Schéma komunikace modulu řídicí jednotky

Pro účely této diplomové práce byla řídicí jednotka tvořena modulem TR-52BA a vývojovou deskou CK-USB-02. Komunikace probíhá prostřednictvím programu *IQRF*, běžícím v obslužném počítači. Z počítače jsou data posílána prostřednictvím sběrnice USB do modulu CK-USB-02, který data předá na sériovou sběrnici SPI do modulu TR-52BA. Po předzpracování jsou data posílána prostřednictvím sítě IQRF dalším komunikačním modulům. Předávání dat může probíhat i opačným směrem. Ze sítě IQRF jsou získaná data zpracována a odeslána do počítače. Na obrázku 32 je znázorněno blokové schéma řídicí jednotky.



Obr. 32: Fotografie modulu CK-USB-02 tvořícího řídící jednotku

3.5 Popis funkce systému

Jádro systému bezdrátového řízení osvětlení je tvořeno řídící jednotkou, která umožňuje komunikaci uživatele se systémem. Řídící jednotka je tvořena koordinátorem platformy IQRF na který jsou připojeny jednotlivé moduly systému -vstupní expandéry, výstupní expandéry a zásuvkové moduly. Programování jednotlivých modulů, jejich přihlašování a nastavování parametrů se děje právě prostřednictvím řídící jednotky. Při běžném provozu řídící jednotka slouží jako odposlech systému komunikující s obslužným programem *IQRF* v počítači. Jednotlivé vstupní moduly vysílají své povely celoplošně, na které mohou příslušné výstupní moduly reagovat odezvou na svých výstupech. Pro provoz tedy není nezbytná přítomnost řídící jednotky. Tento způsob řízení je datově nejúspornější. Pokud by vstupní moduly vysílaly své povely směrem k řídící jednotce a ta je dále distribuovala příslušným výstupním

modulům datový tok v systému by byl dvojnásobný. Vzhledem k tomu, že systém řízení osvětlení může být rozšiřován o další prvky automatizace, je nezbytné, aby datový tok byl co nejméně redundantní.

Platforma IQRF umožňuje připojení až 239 uzlů do sítě, maximální počet modulů je však programem *IQRF* omezen na 50 vstupních a 50 výstupních modulů. Po přihlášení každého modulu k řídicí jednotce se mohou uživatelsky nastavit některé parametry provozu. Řídicí jednotka však samotný provoz pouze sleduje a předává informace o stavu systému do počítače. Mezi řídicí a nastavovací povely patří:

- přihlášení modulu do sítě,
- vymazání modulu ze sítě,
- nastavení odezvy konkrétního výstupu na konkrétní vstup - aktivační profil,
- vymazání celého profilu,
- lokalizace modulu,
- ovládání konkrétního výstupu,
- kalibrace měření.

Tyto řídicí povely je možno posílat kdykoliv v průběhu provozu do výstupních modulů - expandérů. Bezdrátový provoz je tedy rozdělen na dvě skupiny datových rámců. Jeden druh dat slouží k nastavení výstupních modulů a druhý typ dat slouží k ovládání modulů. Každý modul může sám sebe odhlásit ze sítě, tím se ovšem stává nefunkčním a je v pozici čekání na přihlášení.

Provoz celého systému funguje tak, že vstupní expandér při aktivaci vstupu vyšle do sítě informaci o změně vstupu generální adresou. Tato adresa je přijímána celoplošně všemi moduly. Všechny výstupní expandéry naslouchají na síti a přijatý datový rámec porovnávají se svým aktivačním profilem. Pokud najdou shodu, provedou aktivaci výstupu. Ovládací povely, ať už ze vstupních expandérů, nebo přímo z řídicí jednotky jsou:

- sepnutí výstupu,
- vypnutí výstupu,
- sepnutí výstupu s regulací,
- vypnutí všech výstupů,
- zahájení stmívání či rozsvěcení výstupu,
- ukončení stmívání či rozsvěcení výstupu.

Provoz systému je tvořen jednou sítí s koordinátorem, 50 vstupními a 50 výstupními uzly. Jelikož se jedná o malý systém, není součástí řešení přesměrování komunikačních uzlů. Je to zejména z důvodu dobrého dosahu jednotlivých modulů TR-52BA.

3.6 Obsluha a nastavení systému

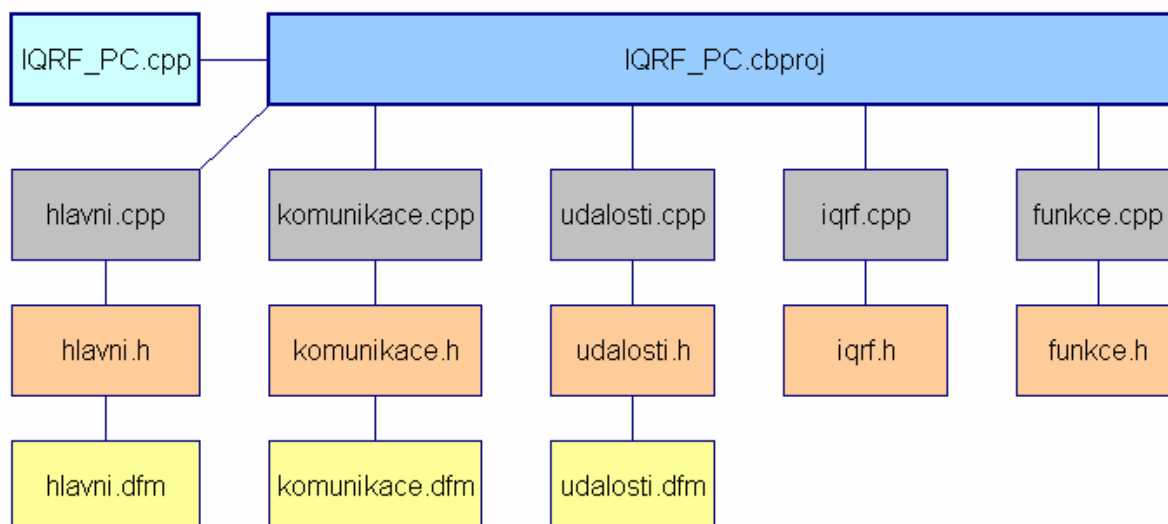
Nastavení a celkové programování celého systému se provádí pomocí programu *IQRF* spuštěném v obslužném počítači. Tento program umožňuje nastavení všech parametrů modulů, nastavení provozu, kontrolu systému a umožňuje rovněž ovládání celého systému. Každý z modulů včetně řídicí jednotky disponuje vlastním ovládacím programem. Ten umožňuje vždy provoz ovládacích a nastavovacích povelů prostřednictvím sítě IQRF.

3.6.1 Program IQRF

Hlavní ovládací prvek systému bezdrátového řízení osvětlení je tvořen programovým vybavením nainstalovaném na obslužném počítači. Tento program tvoří jádro celého systému, jehož pomocí lze nastavovat a ovládat komunikační moduly. Ovládací program nainstalovaný na obslužném počítači je tvořen těmito soubory:

- `IQRF_PC.exe`
- `vstupy.iqrf`
- `vystupy.iqrf`
- `historie.txt`.

Ovládací program je celý obsažen v aplikaci *IQRF_PC.exe*. Soubory *vstupy.iqrf* a *vystupy.iqrf* slouží pro uložení nastavení modulů. V těchto souborech jsou uloženy informace pro každý z 50 možných modulů, z nichž nejdůležitější informací je jeho adresa. Systém IQRF umožňuje připojit uzly ke svému koordinátorovi bez rozlišení jeho vstupní či výstupní funkce. Pokud přiřazujeme uzly prostřednictvím programu *IQRF_PC* (jediný možný způsob zaintegrování uzlů do tohoto systému) program rozpozná, zda se jedná o vstupní nebo výstupní modul a přidělí jim číslo vlastní číselné řady od 1 do 50. Ve skutečnosti ovšem platforma IQRF přidělí číslo uzlu z jedné řady a to v hodnotě od 1 do 239. Program *IQRF_PC* pracuje ve skutečnosti s těmito adresami, ale pro komunikaci s uživatelem, především pro jeho lepší orientaci používá virtuální adresy ze dvou řad - vstupní a výstupní. V souborech *vstupy.iqrf* a *vystupy.iqrf* je tedy uložena pod číslem modulu jeho skutečná adresa v síti IQRF. Dále je zde uložen název modulu, který se zobrazí v komunikačním okně. Výstupní moduly mají navíc uložen spínací profil pro oba výstupy.



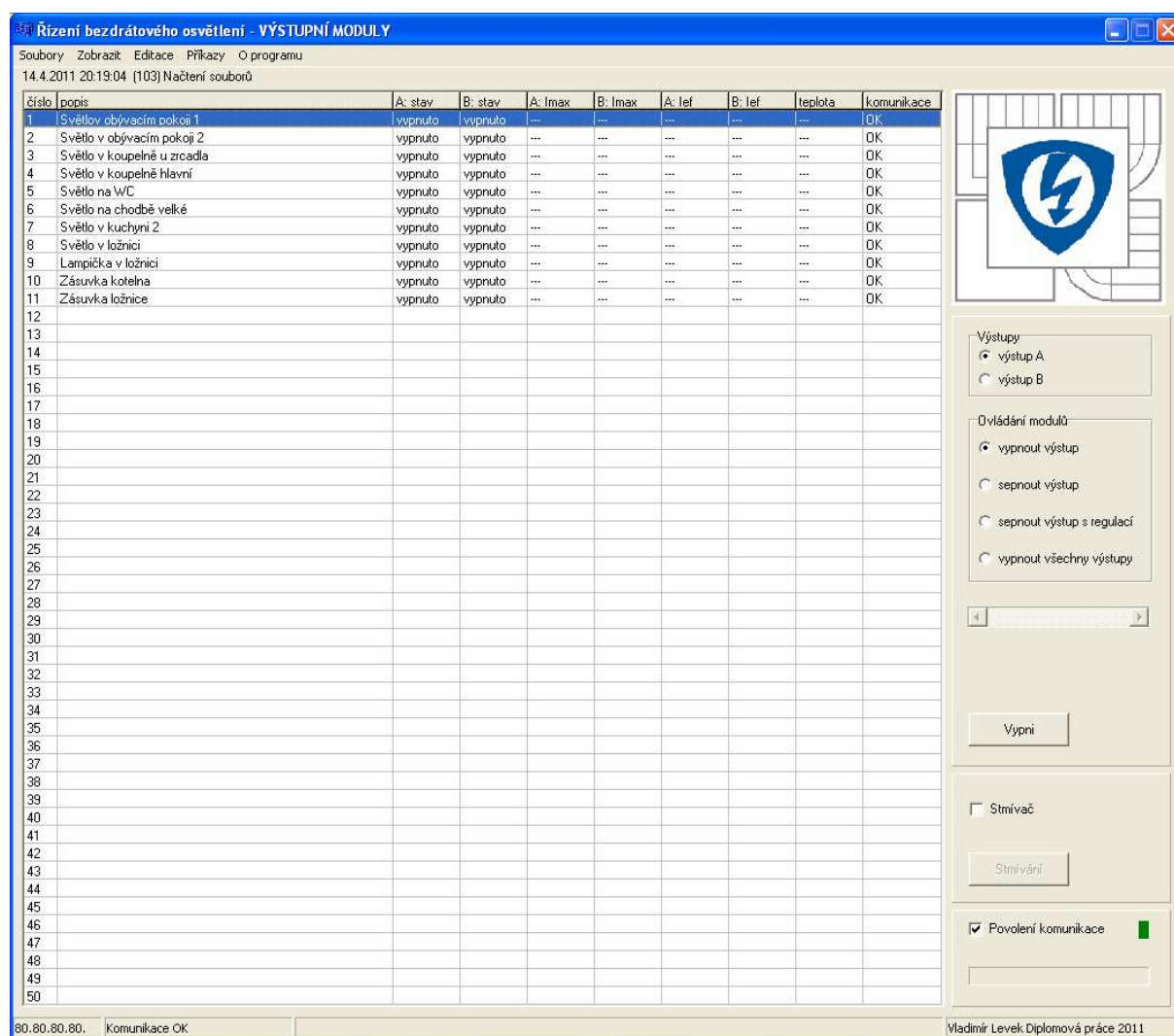
Obr. 33: Seznam souborů pro vytvoření programu IQRF_PC

Program *IQRF_PC* byl vytvořen v jazyce C++, pomocí nástroje C++ Builder ® a za pomoci [13]. Celý projekt se skládá ze souborů znázorněných na obrázku 33. Po přeložení všech souborů vznikne spustitelná aplikace *IQRF_PC.exe*, která spolu s dalšími soubory tvoří jádro ovládání systému pro bezdrátové řízení osvětlení.

Popis programu *IQRF_PC*

Po zapnutí aplikace je provedeno načtení hodnot vstupních a výstupních modulů a jsou nastaveny komunikační limity všem připojeným modulům. Hlavní okno programu je nakresleno na obrázku 34.

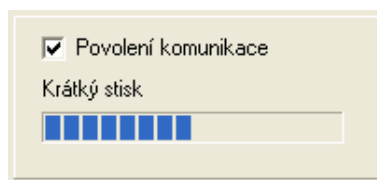
V tomto okně jsou zobrazeny pouze moduly připojené do systému. Ve stavové tabulce v levé části okna jsou informace o stavu výstupních modulů (A i B), hodnota amplitudy proudu, hodnota efektivního proudu, teplota na modulu a stav komunikace. Pravá část hlavního okna slouží pro ovládání jednotlivých modulů. První skupina přepínače ovládá výstupy v rámci modulu. Každý z expandérů disponuje dvěma výstupy a pro jednoduchost ovládání je povoleno ovládat vždy pouze jeden výstup (A nebo B). Další skupina přepínačů umožňuje zvolit druh ovládání. Aktivací přepínače se navíc ovládá text na tlačítku, tak aby korespondoval se zvolenou aktivací. Pokud je zvolena možnost ovládání regulace výstupu, je zviditelněna i posuvná lišta a vedle ní je znázorněna velikost regulace v procentech (1 % až 100 %). Stisknutím tlačítka se provede zvolená aktivace.



Obr. 34: IQRF_PC hlavní okno programu

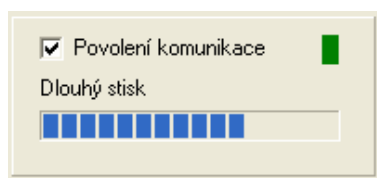
Volba adresy modulu je provedena pomocí informačního okna. Poklepáním na příslušnou buňku tabulky se vybere celý řádek, označí se modrou výplní a adresa modulu je uložena do globální proměnné až do doby, než se provede další změna řádku. Veškerá komunikace se dotazuje na stav adresy uložené v této proměnné.

Další ovládací skupinou je část ovládání stmívače. Zatřetím políčka Stmívač se zakáže možnost ovládání modulů a aktivuje se ovládání stmívače. Časový průběh ovládání stmívače tlačítkem bude podrobně vysvětlen v kapitole 3.6.4. Obecně lze ovládání popsat následovně. Při stisknutí tlačítka je spuštěn časovač. Pokud uživatel do doby 2 sekund toto tlačítko opět uvolní, systém pozná, že uživatel nechce spouštět stmívač, ale pouze přepnout stav výstupu. Povel pro přepnutí výstupu se odešle vždy po uvolnění tlačítka. Tento jev je zde nazván **Krátký stisk**. Na obrázku 35 je vidět na posuvném ukazateli čas odměřující do doby sepnutí stmívače, tedy dobu o délce 2 s.



Obr. 35: Ovládání výstupu krátkým stiskem

Jestliže po uplynutí doby krátkého stisku uživatel tlačítko neuvolní, je poslán do sítě IQRF povel pro povolení stmívače. Pokud byl dosud výstup sepnut, systém jej rozezne a zahájí plynulé rozsvěcování v rozsahu 0% až 100%. Po dobu rozsvěcování je očekáván povel uvolnění tlačítka, tentokrát nazvaný **Dlouhý stisk**. Při příjmu tohoto povelu se ukončí regulace a v paměti procesoru je uchován poslední stav sepnutí. Na obrázku 36 je znázorněn časový posun pro vypnutí stmívače.

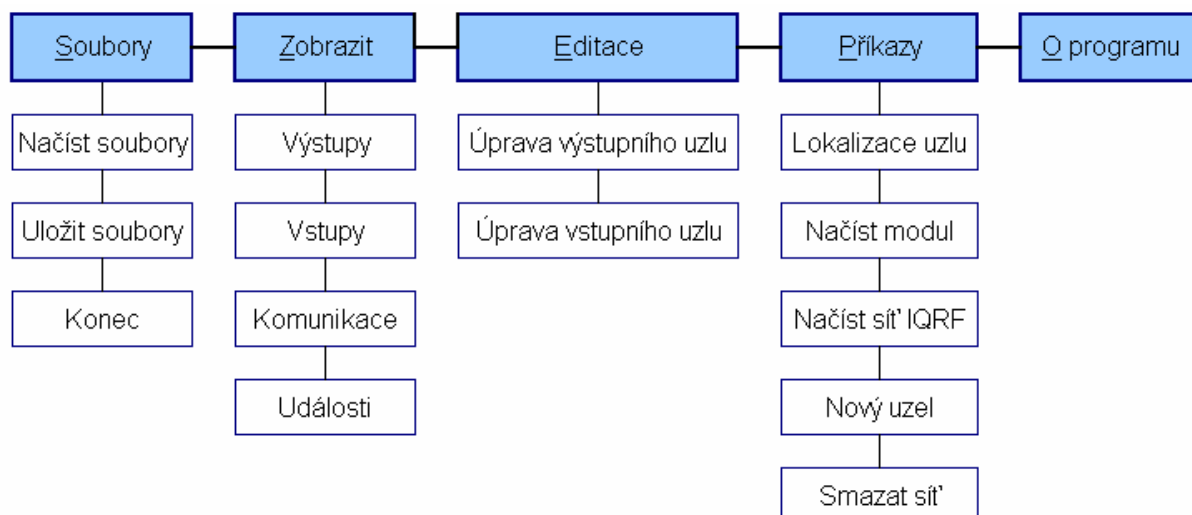


Obr. 36: Ovládání stmívače dlouhým stiskem

Dalším ovládacím prvkem hlavního okna je panel komunikace. Při zapnutí systému je primárně nastaveno povolení komunikace. Průběh probíhající komunikace je znázorněn blikajícím obdélníkem v komunikačním panelu. Pokud má obdélník zelenou barvu a bliká, komunikace probíhá v pořádku. Jestliže je komunikace uživatelsky vypnutá, má obdélník červenou barvu, a pokud není k počítači připojena řídicí jednotka, barva obdélníku se změní na modrou.

Dalším informačním prvkem hlavního okna je stavový řádek. Zde je uživatel informován o stavu komunikace, o stavu přenášených dat, popřípadě o stavu poruch systému. Tento panel je důležitější spíše pro diagnostiku než pro uživatelské potřeby.

Nejdůležitějším prvkem programu *IQRF_PC* je ovládací panel s hlavním menu programu. Pomocí tohoto menu může uživatel přepínat mezi jednotlivými okny programu nebo může ovládat další činnosti spojené s provozem systému. Struktura menu je nakreslena na obrázku 37.



Obr. 37: Položky hlavního menu programu IQRF_PC

Soubory

Jedná se o hlavní složku menu, která obsahuje možnosti práce se vstupními a výstupními soubory. Jsou zde zahrnuty příkazy pro načtení a uložení souboru a také povel pro ukončení aplikace.

Načíst soubory

Při aktivaci toho příkazu se provede načtení souborů *vstupy.iqrf* a *vystupy.iqrf* a uložení jejich hodnot do struktur `OutList` a `InList`. Tyto struktury obsahují hodnoty, které se ukládají pro opakované použití. Jsou to informace o:

- IQRF adrese uzlu,
- popis modulu,
- spínací profil,
- hodnota kalibrace.

Další hodnoty, které se neukládají do souboru, ale musí být k dispozici během programu jsou:

- stav výstupu,
- hodnota amplitudy
- hodnota efektivního proudu,
- stav teploty modulu,
- počítadlo komunikace,
- příznak stavu komunikace.

Uložit soubory

Při tomto povelu se provede uložení hodnot ze struktur `OutList` a `InList` do souborů *vystupy.iqrf* a *vstupy.iqrf*.

Konec

Povel konec kopíruje ukončovací tlačítko okna vpravo nahoře. Pokud tento povel aktivujeme, program se pomocí dialogového okna dotáže na možnost uložení hodnot z výše uvedených struktur do souboru **.iqrf*. Záleží na volbě uživatele, zda proběhne uložení a tím možné přepsání nových hodnot.

Zobrazit

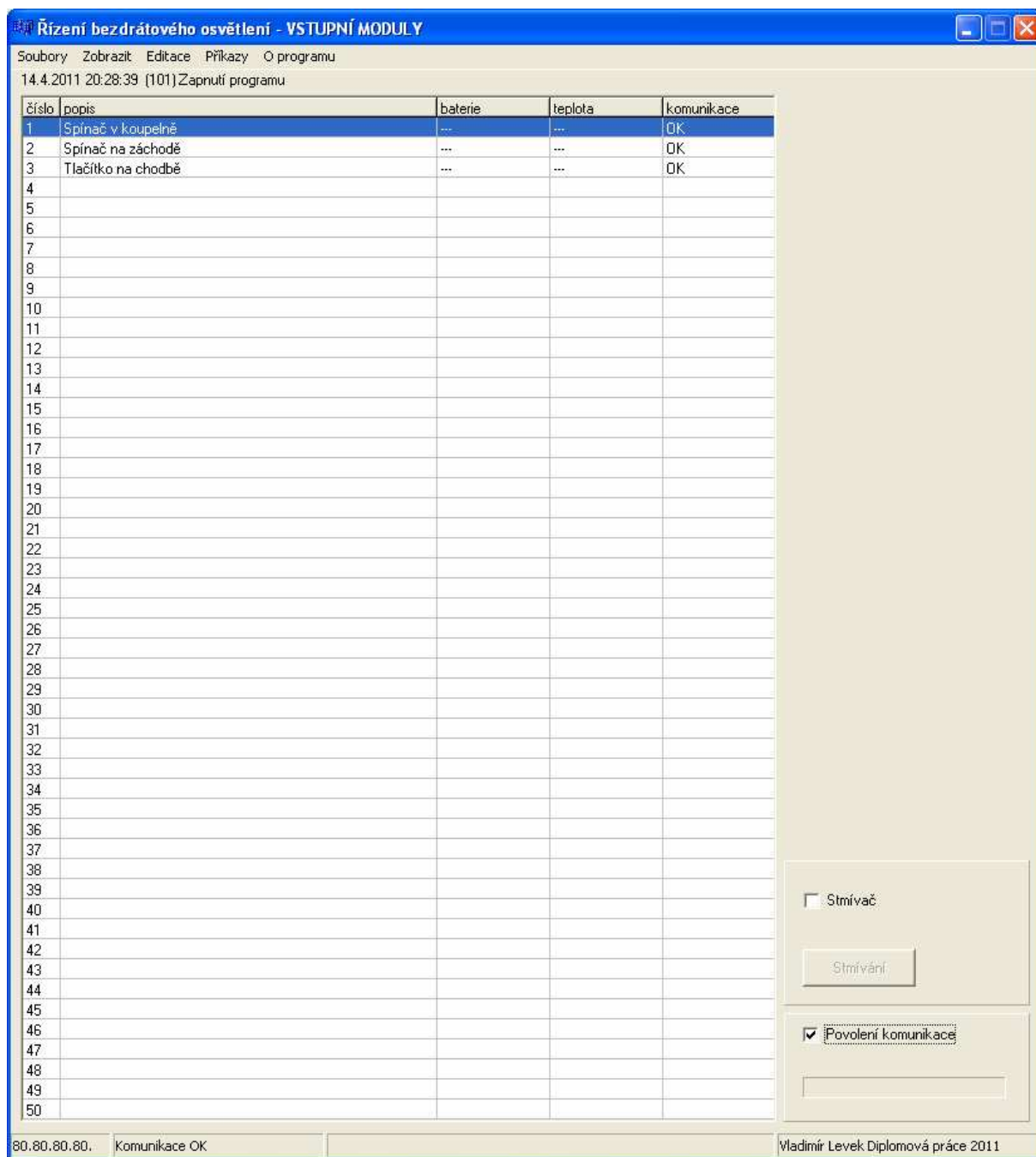
Tato hlavní složka menu dává na výběr přepínání mezi okny. Okna vstupních a výstupních modulů jsou tvořena jedním rámem, pouze se změní rozměry, parametry a viditelnost některých komponent. Ostatní položky jsou tvořeny nemodálními okny.

Výstupy

Tento povel provede zobrazení základního okna tak, jak je znázorněno na obrázku 33. Při tomto povelu se provede rozmístění jednotlivých komponent, inicializuje se mřížka a provede se zviditelnění jednotlivých tlačítek, přepínačů a zatrhávacích polí. Rozměry a posunutí všech komponent je vztaženo k počátku a musí být přesně dopočítáno, protože následující okno má jiné rozměry, jiný počet komponent a podstatně menší mřížku informačního okna.

Vstupy

Pokud aktivujeme tuto položku menu, program zůstává ve stejném okně, pouze se provede přepočítání rozměrů, zneviditelnění většiny ovládacích komponent a naplnění tabulky informacemi ze vstupní struktury `InList`. Na obrázku 38 vidíme, že okno se vstupními moduly je podstatně jednodušší. Je to z toho důvodu, že vstupní moduly se neovládají. Posílají pouze informaci o úrovni napájení a velikosti teploty na modulu. Opět je sledována četnost komunikace a po určité době neaktivity je vyhlášena chyba komunikace každého jednotlivého vstupního modulu.

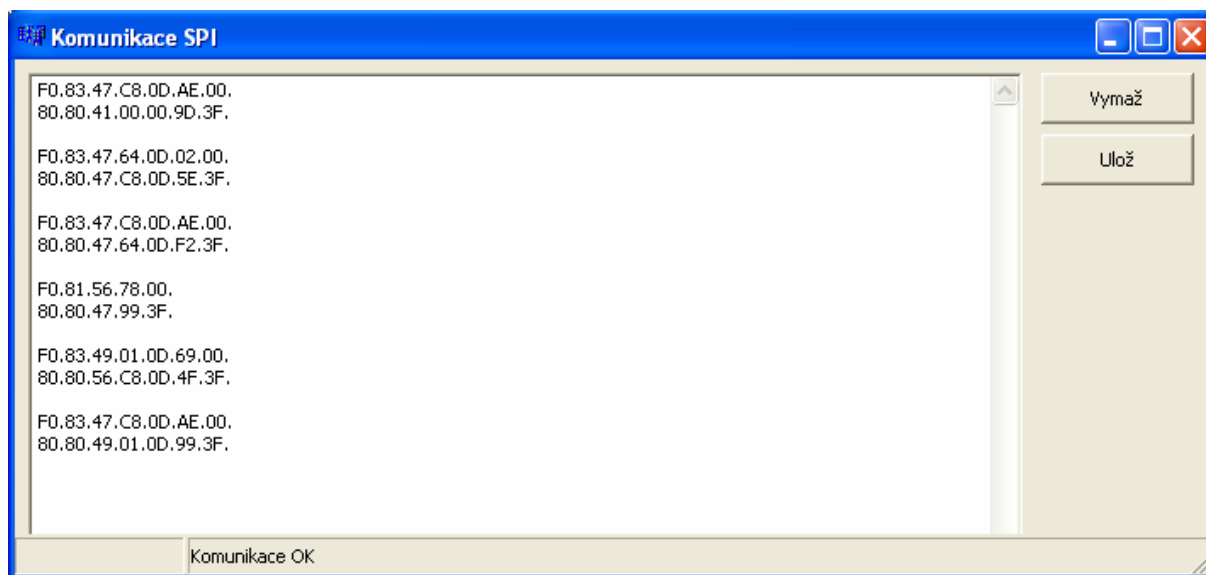


Obr. 38: Okno programu IQRF_PC se vstupními moduly

Komunikace

Příkaz komunikace otevře hyperterminál se záznamem probíhající komunikace. Okno terminálu je na obrázku 39. Program *IQRF_PC* každých 10 ms vysílá dotaz do řídicí jednotky, který má datovou hodnotu: 00.00.00.00. Řídicí jednotka v klidovém stavu odpovídá zprávou: 80.80.80.80. Touto odpovědí dává řídicí jednotka programu informaci, že nemá žádná data připravena k vysílání a komunikace probíhá v pořádku. Pokud je tento stav zaznamenán, nezobrazí se datový tok v informačním okně. Do informačního

okna se zapisují ostatní data probíhající mezi počítačem a řídicí jednotkou. Z toho důvodu se nezaplní informační okno stále stejnými hodnotami.



Obr. 39: Okno průběhu komunikace

Tlačítka "Vymaž" a "Ulož" slouží pro vymazání okna, respektive k uložení komunikačních informací pomocí standardního ukládacího dialogového okna kdekoliv do počítače.

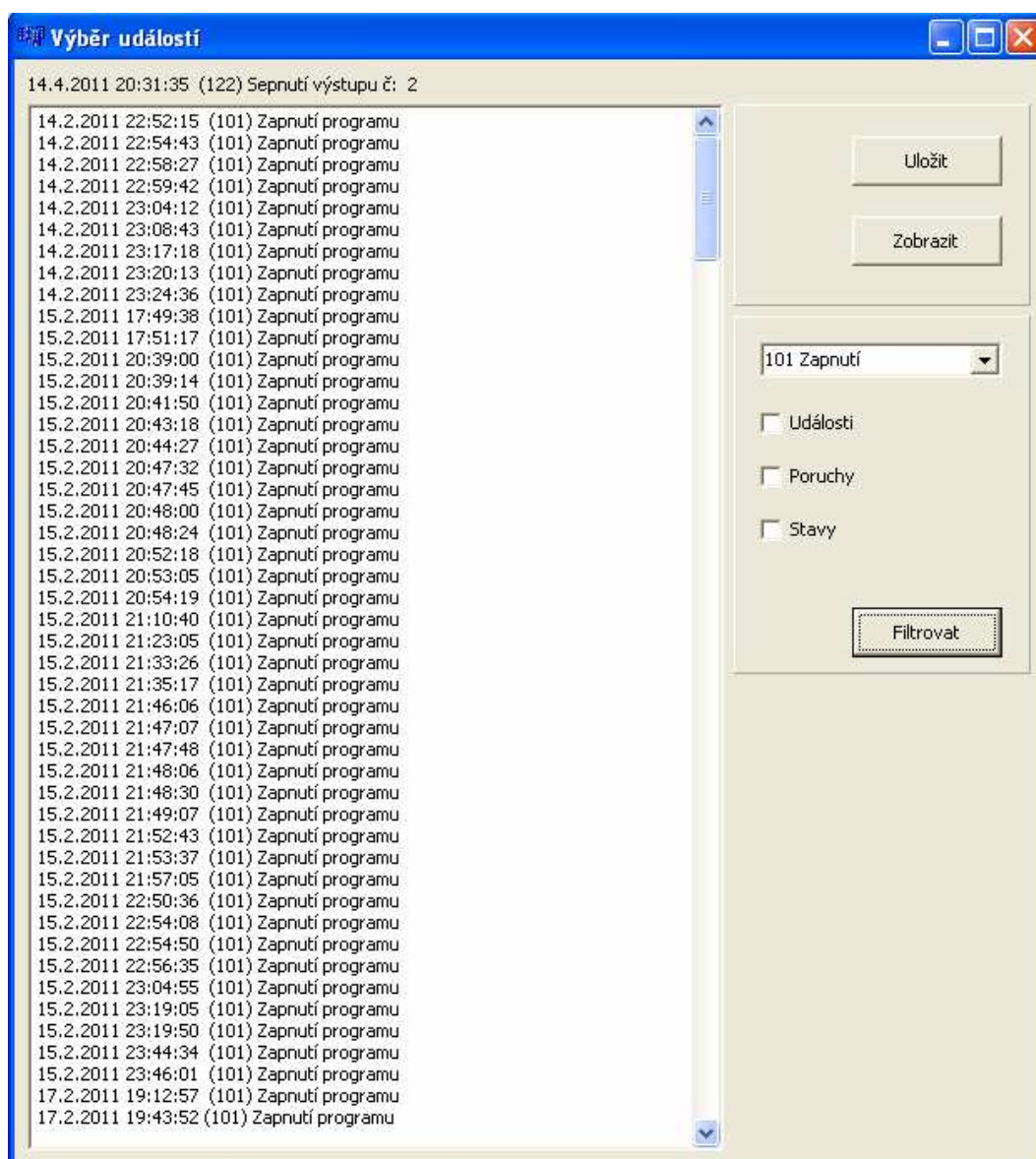
Události

Pokud uživatel aktivuje tuto složku menu, zobrazí se okno s událostmi systému. Do tohoto textového okna se ukládají všechny důležité provozní, poruchové stavy a povel.

Každý stav, porucha nebo povel je opatřen informací s datumem a časem vzniku události, kategorií události a vlastním textovým popisem. Některé popisy mají v textu navíc jednu proměnnou, upřesňující informaci, například:

27.2.2011 15:42:17 (142) Programování výstupního modulu číslo: 2.

Součástí této položky menu je možnost filtrování událostí. To se provede buď podle čísla události - hodnota v závorce, nebo podle kategorie události: stav, porucha, nebo povel. I zde je umožněno uložení textu do souboru. Uložení textového okna do souboru je opět provedeno stiskem tlačítka "Uložit" za pomoci ukládacího dialogového okna. Okno událostí je zobrazeno na obrázku 40.



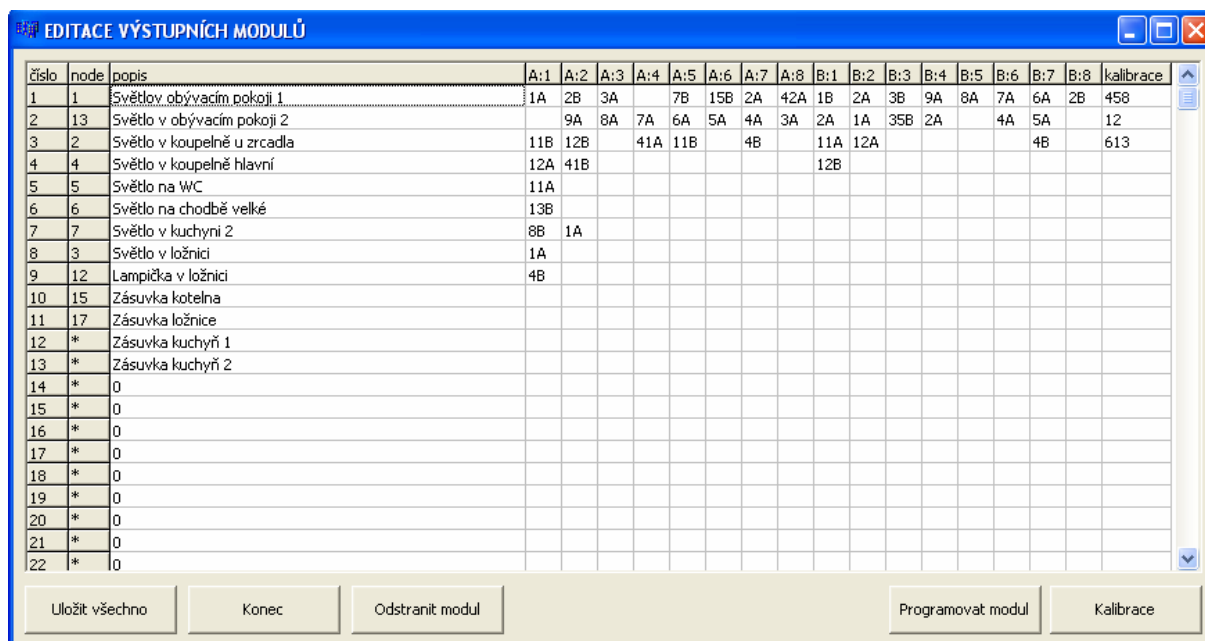
Obr. 40: Okno informačních logů programu

Editace

Tato hlavní složka menu obsahuje vnořené podsložky pro zobrazení oken pro úpravu modulů. Pokud tedy uživatel požaduje programování modulů, vstoupí do tohoto menu.

Úprava výstupního uzlu

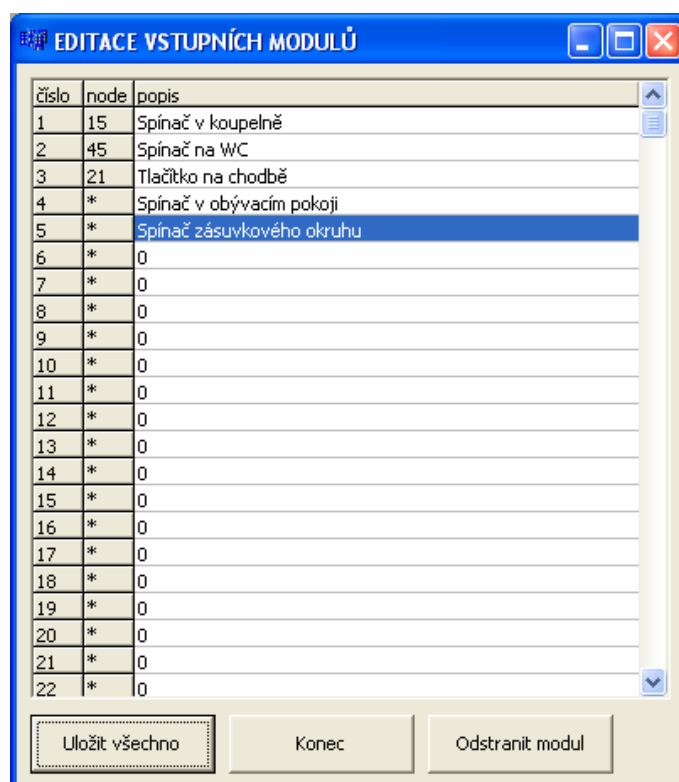
Aktivací této položky (viz obrázek 41) se zobrazí okno, ve kterém lze editovat potřebné údaje výstupního uzlu. V mřížce se zobrazí všechny moduly, tedy i ty, které nejsou připojeny k síti IQRF. Rovněž je zde vytvořen popis, profil, atd. Pokud je modul připojen k síti IQRF, je k němu ve sloupci node vložena adresa IQRF (hardwarová adresa). Pokud však modul ještě není připojen k síti, je tento stav znázorněn v příslušném sloupci hvězdičkou.



číslo	node	popis	A:1	A:2	A:3	A:4	A:5	A:6	A:7	A:8	B:1	B:2	B:3	B:4	B:5	B:6	B:7	B:8	kalibrace
1	1	Světlov obývacím pokojí 1	1A	2B	3A		7B	15B	2A	42A	1B	2A	3B	9A	8A	7A	6A	2B	458
2	13	Světlo v obývacím pokojí 2		9A	8A	7A	6A	5A	4A	3A	2A	1A	35B	2A		4A	5A		12
3	2	Světlo v koupelně u zrcadla	11B	12B		41A	11B		4B		11A	12A					4B		613
4	4	Světlo v koupelně hlavní	12A	41B							12B								
5	5	Světlo na WC	11A																
6	6	Světlo na chodbě velké	13B																
7	7	Světlo v kuchyni 2	8B	1A															
8	3	Světlo v ložnici	1A																
9	12	Lampička v ložnici	4B																
10	15	Zásuvka kotelna																	
11	17	Zásuvka ložnice																	
12	*	Zásuvka kuchyň 1																	
13	*	Zásuvka kuchyň 2																	
14	*	0																	
15	*	0																	
16	*	0																	
17	*	0																	
18	*	0																	
19	*	0																	
20	*	0																	
21	*	0																	
22	*	0																	

Obr. 41: Editační okno pro úpravu výstupních modulů

V mřížce jsou rovněž uloženy hodnoty spínacího profilu, který zajistí vazbu mezi vstupem a výstupem. Pomocí tlačítka "programovat modul" se aktuální informace na aktuálním řádku odešlou do patřičného výstupního modulu.



číslo	node	popis
1	15	Spínač v koupelně
2	45	Spínač na WC
3	21	Tlačítko na chodbě
4	*	Spínač v obývacím pokojí
5	*	Spínač zásuvkového okruhu
6	*	0
7	*	0
8	*	0
9	*	0
10	*	0
11	*	0
12	*	0
13	*	0
14	*	0
15	*	0
16	*	0
17	*	0
18	*	0
19	*	0
20	*	0
21	*	0
22	*	0

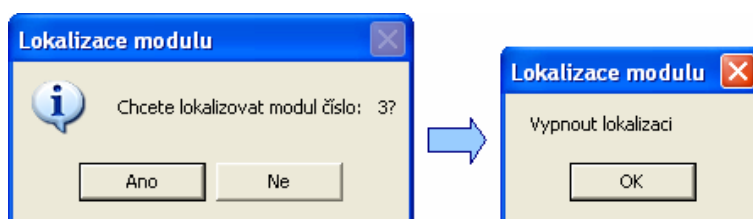
Obr. 42: Editační okno pro úpravu vstupních modulů

Úprava vstupního uzlu

Vstupní moduly v tomto systému nemají mnoho funkcí, které by bylo nutné programovat, z toho důvodu je i okno na obrázku 42 poměrně jednodušší. Sloupce s popisem a adresou uzlu IQRF jsou obdobné jako u okna pro nastavení výstupních modulů. Nápis na ovládacích tlačítkách rovněž dává tušit smysl své funkce. Výběr mezi jednotlivými moduly je opět realizován výběrem příslušného řádku.

Lokalizace uzlu

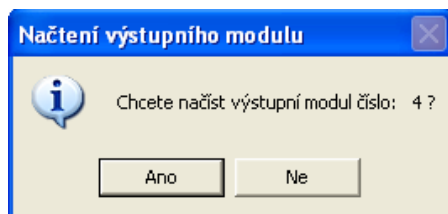
Tato funkce umožňuje vyhledat příslušný bezdrátový modul a identifikovat jej. Protože se jedná o systém modulů bez nutnosti pevné instalace, může se stát, že se některý modul zamění, či ztratí. Vstupní moduly mají lokalizaci jednoduchou. Pokud se sepne nějaký vstup na vstupní modul, ihned se v okně zobrazí informace včetně hodnoty adresy. Výstupní modul lze příkazem - viz obrázek 43, rozblikat a získat opět informaci o adrese. Dalším, bezprostředně následujícím повеlem, dojde k vypnutí lokalizace. Na modulu TR-52BA jsou umístěné dvě diody LED a pomocí příkazu lokalizace je obslužná rutina rozbliká.



Obr. 43: Dialogová okna pro lokalizaci modulu

Načíst modul

Při vstupu do této položky se obslužný program, respektive řídicí jednotka, doptá výstupního modulu na stav všech jeho funkcí, tedy na stav výstupů, stav průtoku proudu a teplotu modulu. Tuto informaci pošle výstupní modul řídicí jednotce, respektive obslužnému programu do deseti sekund. Na obrázku 44 je dialogové okno pro načtení modulu.

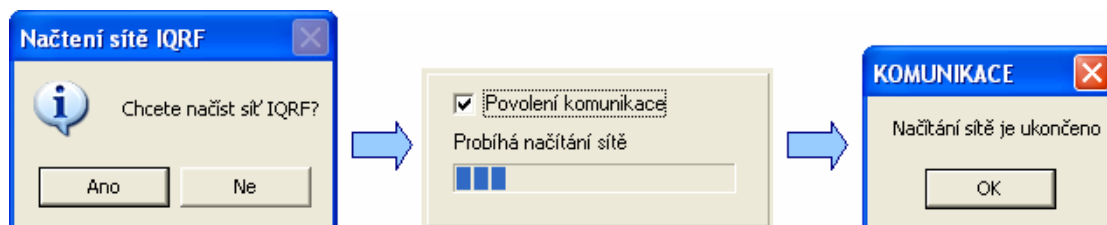


Obr. 44: Dialogové okno pro načtení výstupního modulu

Načíst síť IQRF

Tato funkce systému *IQRF_PC* je poněkud rozsáhlejší. Časovač s krokem 1 sekunda vysílá povel dotazující se na stav modulu od nejnižší adresy po nejvyšší obsazenou adresu. Opět je programově ošetřeno, aby nebyla posílána prostřednictvím komunikace RF zbytečná

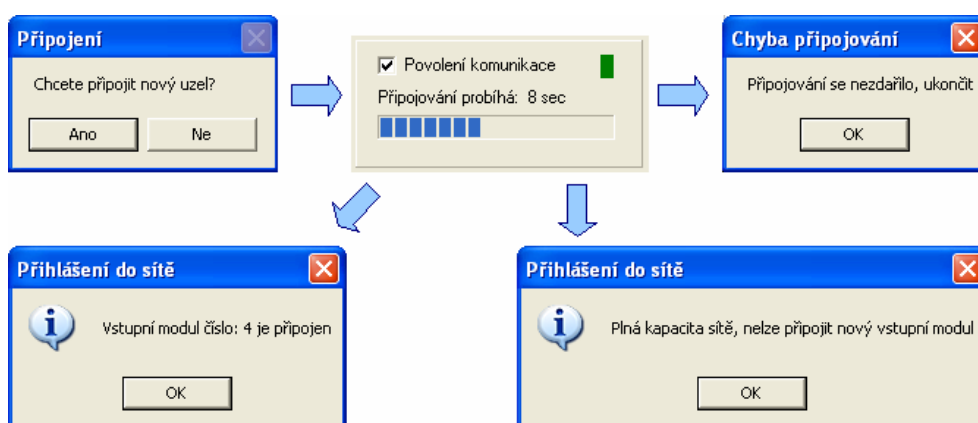
data. Z toho důvodu se řídící jednotka zasílá dotaz na stav pouze zavedeným a přihlášeným modulům. Všem modulům se zkrátí doba odezvy komunikace, a pokud se do krátkého limitu nepřihlásí, je vyhlášena chyba komunikace. Časový interval 1 sekunda je dostatečně dlouhá doba na to, aby se data nedostávala do kolize. Na obrázku 45 jsou znázorněna dialogová okna tohoto procesu.



Obr. 45: Dialogová a informační okna pro načtení sítě IQRF

Nový uzel

Pokud uživatel chce do sítě IQRF připojit nový uzel, musí nový uzel uvést do stavu přihlašování. To je provedeno vymazáním uzlu. Pokud vstupní nebo výstupní modul není připojen k síti, je v módu připojování. Ten je provázen rychlým blikáním diody LED a nečinností pro ostatní funkce. Pokud se naopak modul přihlásí do sítě, není schopen žádného dalšího připojování. Jestliže se uzel nachází v připojovací smyčce a na straně obsluhy počítače se zvolí mód připojení dalšího uzlu, funkce operačního systému IQRF zajistí připojení modulu. Paralelně s tímto časem běží časový limit, a pokud do 20 sekund neproběhne připojení, program ukončí mód připojování s patřičným upozorněním. Všechny fáze připojování jsou zobrazeny na obrázku 46.

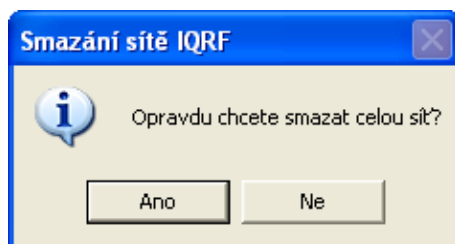


Obr. 46: Dialogová a informační okna připojování nového uzlu do systému

Smazat síť

Pokud uživatel z nějakého důvodu potřebuje smazat celou síť IQRF, vstoupí do této položky menu. Předtím je samozřejmě vyzván k potvrzení příkazu (viz obrázek 47) a po odsouhlasení se provede celoplošné odeslání příkazu generální adresou. Zároveň se vymažou

veškerá data a informace o modulech. Vstupní moduly se musí vymazat ručně, protože nejsou ve stavu naslouchání sítě.



Obr. 47: Dialogové okno pro vymazání celé sítě

Všechny povely, které souvisí s komunikací sítě, kontrolují stav komunikace sběrnice SPI. Pokud program zjistí, že počítač není připojen k síti, oznámí dialogové okno tuto situaci a upozorní na nápravu. Příkaz se nevykoná, pokud komunikace není aktivní.

Celý program *IQRf_PC* je obsáhlejší a podrobný popis překračuje rozsah této práce. Funkce podprogramů a obsluha jednotlivých událostí jsou patrné z komentovaného výpisu programu uloženého v digitální příloze této práce.

3.6.2 Komunikace mezi moduly IQRf

S řídicí jednotkou systému, reprezentovanou modulem TR-52BA, se komunikuje prostřednictvím univerzálního modulu CK-USB-02. Tento modul zajišťuje převod dat ze sériové sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) na sběrnici USB (Universal Serial Bus). Řídicí jednotka informaci upraví a předá prostřednictvím sítě RF ostatním modulům. Tato data jsou zpracována a výsledek zpracování je popřípadě poslán opačnou cestou do počítače.

Pomocí níže popsaných povelů se celý systém nastavuje a ovládá. Systémové povely slouží k provozu systému IQRf, jsou dále zpracovávány, slouží pro informaci uživatele a navíc se všechny zobrazují v textovém okně panelu komunikace programu *IQRf_PC*. Z hlediska funkce jsou všechny povely systému řízení osvětlení rozděleny do těchto skupin:

- Nastavení systému,
- povely do systému,
- informace od řídicí jednotky.

Za účelem rozdělení systémových povelů z hlediska typu komunikujících prvků můžeme rozlišovat tyto druhy komunikace:

- Komunikace mezi počítačem a řídicí jednotkou (USB a SPI),
- komunikace mezi řídicí jednotkou a výstupními moduly (RF komunikace),
- komunikace mezi modulem TR-52BA a procesorem ve výstupním modulu (SPI),
- komunikace mezi vstupním modulem, řídicí jednotkou a výstupním modulem (RF komunikace).

V následujícím textu je popsán komunikační protokol systému na základě charakteru zprávy a ne podle typu komunikace. Každý odstavec obsahuje popis komunikace jednoho příkazu. Každý datový řetězec je uvozen jedinečnou jednobajtovou hlavičkou.

Přihlášení modulu do sítě

Pomocí sekvencí uvedených v tabulce 6 se přihlašuje nový modul (uzel) do sítě IQRF. Na řádcích 3a, 3b je znázorněn komunikační protokol pro přihlášení vstupního modulu a na řádcích 4a, 4b přihlášení výstupního modulu

Tabulka 6: Přihlášení modulu do sítě

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	PC	RJ	SPI	N přihlášení
2	RJ	OUT/IN	RF	bondNewNode()
3a	out	RJ	RF	M odpověď vstupního modulu
3b	RJ	PC	SPI	M ADR
4a	in	RJ	RF	B odpověď výstupního modulu
4b	RJ	PC	SPI	B ADR
5	RJ	PC	SPI	Q neúspěšné přihlášení

Vymazání modulu a celé sítě

Komunikace pomocí níž se vymaže buď jeden konkrétní modul, nebo i celá síť je popsána v tabulce 7. Komunikace v řádku pod číslem 1a, 2a slouží pro vymazání jednotlivého uzlu, číslo 1b, 2b znázorňuje komunikaci pro vymazání všech výstupních modulů. Vstupní moduly nejsou na příjmu, proto je nutné jejich ruční vymazání.

Tabulka 7: Vymazání modulu nebo celé sítě

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1a	PC	RJ	SPI	E ADR vymazání jednoho modulu
2a	RJ	OUT	RF	E RX=adresa uzlu pro vymazání
1b	PC	RJ	SPI	F vymazání celé sítě
2b	RJ	OUT	RF	F RX=0xFF (broadcast)

Lokalizace modulu

Pomocí sekvencí v tabulce 8 lze příslušný výstupní modul rozblikat, nebo ukončit blikání. Komunikační protokol na řádcích 1a, 2a znázorňuje zapnutí lokalizace a na řádcích 1b, 2b je zobrazen průběh povelů pro vypnutí lokalizace.

Tabulka 8: Lokalizace modulu

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1a	PC	RJ	SPI	L ADR lokalizace modulu
2a	RJ	OUT	RF	L RX=adresa uzlu pro lokalizaci
1b	PC	RJ	SPI	K vypnutí lokalizace
2b	RJ	OUT	RF	K RX=0xFF (broadcast)

Stav výstupního modulu

Pokud chce uživatel načíst stav výstupního modulu, použije sekvenci v tabulce 9. Na řádcích 1 až 3 je znázorněna komunikace požadavku. Na řádcích 4 až 6 probíhá komunikace stavu výstupního modulu. V 8bitových buňkách stav je uložena hodnota výstupu (0 = vypnuto, 200 = zapnuto, 0 až 200 = posunutí fáze spínače po krocích 32 μ s).

Tabulka 9: Stav stavu výstupního modulu

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	PC	RJ	SPI	D ADR požadavek na stav výstupního modulu
2	RJ	OUT	RF	D RX=adresa uzlu pro načtení stavu
3	OUT-EXP	OutModul2	SPI	D
4	OutModul2	OUT-EXP	SPI	D stavA stavB proudA proudB
5	OUT	RJ	RF	D stavA stavB proudA proudB tepl TX=adresa uzlu
6	RJ	PC	SPI	D stavA stavB proudA proudB tepl ADR

Nastavení výstupního modulu

Tímto повеlem (tabulka 10) se pošlou data do výstupního modulu, která prezentují jeho spínací profil. Každý výstup v expandéru má vlastní pole profilů SPAX a SPBX. V profilech jsou uloženy adresy vstupních expandérů. Protože také vstupní expandéry mají dva vstupy, jejich rozlišení je vyjádřeno bitově v buňce SPA nebo SPB na konci řetězce. Vstupy A prezentují hodnotu 1 a vstupy B jsou vyjádřeny nulou na patřičném čísle bitu. Celé osmibitové číslo v buňce SPX vyjadřuje bit po bitu rozlišení vstupů pro pole SPX1 - SPX8.

Tabulka 10: Nastavení výstupního modulu

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	PC	RJ	SPI	S SPA1 SPA2 SPA3 SPA4 SPA5 SPA6 SPA7 SPA8 SPB1 SPB2 SPB3 SPB4 SPB5 SPB6 SPB7 SPB8 SPA SPB ADR
2	RJ	OUT	RF	S SPA1 SPA2 SPA3 SPA4 SPA5 SPA6 SPA7 SPA8 SPB1 SPB2 SPB3 SPB4 SPB5 SPB6 SPB7 SPB8 SPA SPB

Úvodní hlášení modulů

Po připojení napájení přihlášený modul (vstupní i výstupní) pošle prostřednictvím sítě IQRf iniciační povel – viz tabulka 11, kterým dá najevo ovládacímu programu, že byl zapnut. Toto hlášení se zobrazí v informačním okně a také se vypíše do souboru *historie.txt*.

Tabulka 11: Úvodní hláška modulů

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	OUT/IN	RJ	RF	A TX=adresa uzlu
2	RJ	PC	SPI	A ADR inicializace od modulů
3	RJ	PC	SPI	A 0 inicializace od řídicí jednotky

Chybové hlášení modulu

Pokud některý z modulů detekuje ve svém obvodu nebo programu chybu, pošle ji prostřednictvím datového řetězce uvozeného hlavičkou 'C' - viz tabulka 12.

Tabulka 12: Chybová hláška modulů

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	OUT/IN	RJ	RF	C data TX=adresa uzlu
2	RJ	PC	SPI	C data ADR chyba od modulů
3	RJ	PC	SPI	C data 0 chyba od řídicí jednotky

Ovládání výstupního modulu

Tento povel je ovládací, neslouží tedy pro informaci, ale pro ovládání výstupních expandérů. Každý výstupní expandér má dva výstupy a ty mohou být ovládány prostřednictvím počítače - viz tabulka 13, nebo pomocí vstupních modulů - v tabulce 15. Řádky označené písmenem 'a', ovládají výstup A, řádky pod písmenem 'b' slouží k přenosu povelů ovládajících výstupy B. Buňky stav mají stejnou vlastnost jako buňky obsažené v řetězci informujícím o stavu modulu.

Tabulka 13: Ovládání výstupního modulu

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1a	PC	RJ	SPI	G stav ADR ovládání výstupu A
2a	RJ	OUT	RF	G stav RX=adresa uzlu
3a	OUT-EXP	OutModul2	SPI	G stav
1b	PC	RJ	SPI	H stav ADR ovládání výstupu B
2b	RJ	OUT	RF	H stav RX=adresa uzlu
3b	OUT-EXP	OutModul2	SPI	H stav

Vypnutí všech výstupních modulů

Datový řetězec popsany v tabulce 14, nemusí posílat hodnotu stavu výstupu, protože již samotná hlavička nese informaci o vypnutí všech výstupů všech modulů.

Tabulka 14: Vypnutí všech výstupních modulů

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	PC	RJ	SPI	V
2	RJ	OUT	RF	V RX=0xFF (broadcast)
3	OUT-EXP	OutModul2	SPI	V

Povely od vstupního expandéru

Vstupní expandér posílá ovládací povely spolu s informací o teplotě a stavu baterie. Tyto povely jsou vysílány celoplošně globální adresou, neboli přijímají je všechny moduly v síti - viz tab. 15.

Tabulka 15: Povely od vstupního expanderu

poř	zdroj	cíl	typ	datový řetězec
1	IN-EXP	RJ/OUT	RF	I data tepl RX=0xFF (broadcast)
2	RJ	PC	SPI	I data tepl ADR
3	OUT-EXP	OutModul2	SPI	I data

Část označená data o velikosti jednoho bajtu obsahuje v sobě složenou informaci o stavu baterie a stavu vstupního tlačítka podle schématu v tabulce 16.

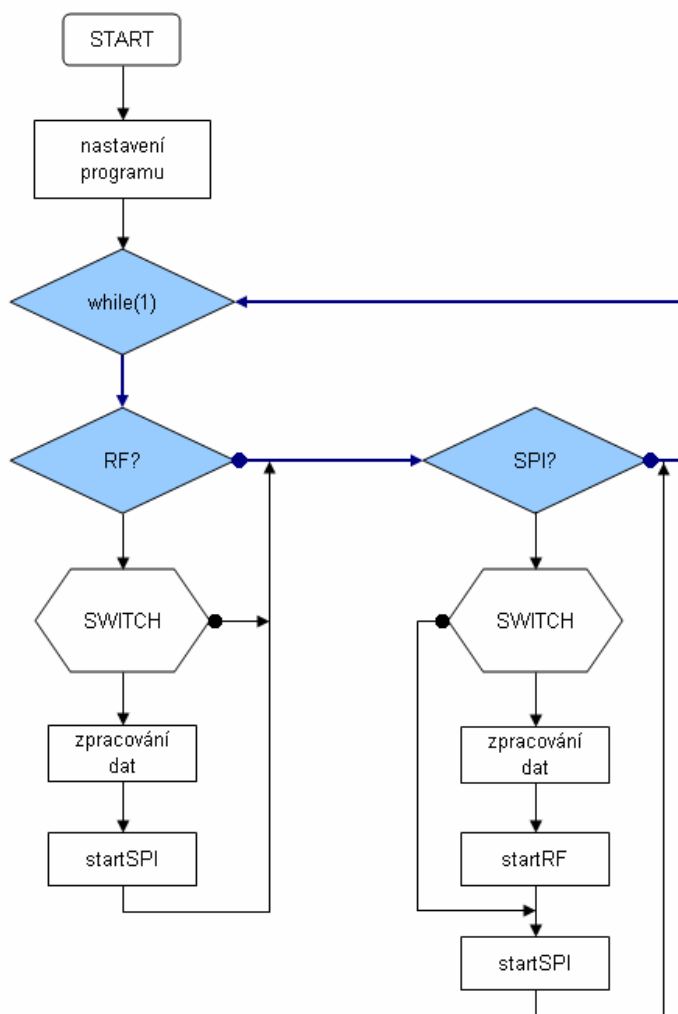
Tabulka 16: Rozdělení informace v buňce data

data	
bit 7 - 4	bit 3 - 0
stav baterie	stav vstupu
0 - F úměrně vybití	0 periodická hláška vstupu
	1 vstup A krátký stisk
	2 vstup A dlouhý stisk
	3 vstup B krátký stisk
	4 vstup B dlouhý stisk
	5 konec dlouhého stisku

3.6.3 Program řídicí jednotky

Program *RJ-C* obsluhující provoz řídicí jednotky tvoří prostředníka mezi uživatelem a systémem. Tento program pracuje ve smyčce, ve které se cyklicky opakují dvě události; dotaz na bezdrátový příjem a dotaz na přijatý datový rámec pomocí sběrnice SPI. Pokud se

program dotazuje na příjem dat ze sítě IQRF - příkaz: `RFRXpacket()`, setrvává v tomto bodě po dobu určenou parametrem `toutRF`. Jestliže systém data v tu chvíli přijímá, program je plně zaměstnán pouze touto činností. Na datový příjem ze sběrnice SPI se lze programově dotázat příkazem `if(getStatusSPI())` [7]. Na obrázku 48 je znázorněn vývojový diagram programu *RJ-C*.



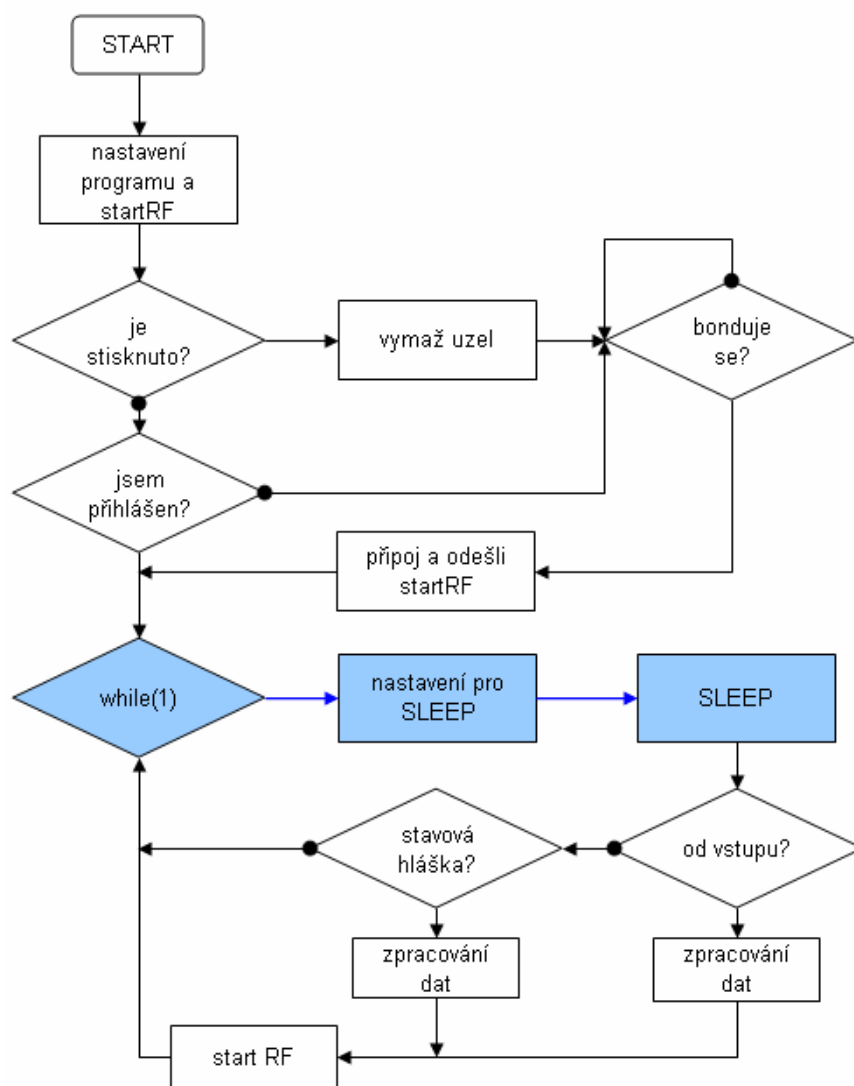
Obr. 48: Diagram programu pro řídicí jednotku

Data přijatá během provozu ze sítě IQRF mají pouze informační charakter a představují buď provozní povely od vstupních expandérů, nebo rámce informující o stavu modulu. Tato stavová hlášení informují o velikosti napájecího napětí, proudu a o stavu teploty na patřičných uzlech. Všechna bezdrátově přijatá data jsou upravena a přeposlána do počítače. Naopak data přijatá od počítače jsou určena vstupním a výstupním uzlům. Je programově zajištěná jejich úprava a jsou rozeslána prostřednictvím bezdrátové komunikace IQRF okolním modulům.

Program je napsán v jazyce C za pomoci [10], [11] a je zkompileován překladačem CC5X. Program se instaluje do modulu TR-52BA prostřednictvím aplikace *IQRF_IDE*, která je součástí vývojových nástrojů pro platformu IQRF.

3.6.4 Program vstupního expandéru

Program *IN-EXP* pracuje v modulu TR-52BA, který je vložen ve vývojovém nástroji DK-EVAL-03. Tento vývojový prostředek může být připojen ke dvěma tlačítkům prostřednictvím upraveného kabelu s konektorem microUSB.



Obr. 49: Diagram programu pro vstupní expandér

Program, jehož vývojový diagram je na obrázku 49 provede ihned po úvodní inicializaci test stisku interního tlačítka. Pokud je tlačítko stisknuto v době spuštění programu, je stav vyhodnocen jako příkaz k vymazání adresy. Ten se provede a modul je odpojen od sítě IQRf. Po tomto úkonu je modul nečinný pro ostatní funkce a je ve stavu čekání na přihlášení se ke koordinátorovi. Pokud je modul přihlášen, odešle se úvodní hlášení řídicí jednotce a program se vnoří do nekonečné smyčky tvořící běžný provoz. V této smyčce je program ve stavu spánku a je probouzen pouze na podnět časovače. Vzhledem k tomu že provoz procesoru ve stavu spánku je minimální, je tento program nejúspornější ze všech vzhledem ke spotřebě.

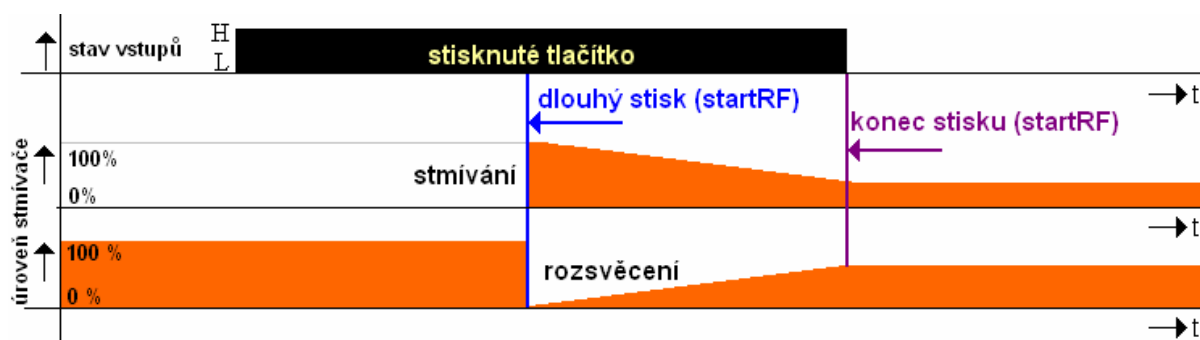
Pokud by program naslouchal IQRF síti, jeho spotřeba by byla mnohem větší. Protože vstupní expandér je napájen z baterie, je tato provozní úspora energie nezbytná.

Na začátku nekonečné smyčky se program uvede do stavu spánku, tedy stavu nízké spotřeby. Po uplynutí doby 1 sekunda je program probuzen a provede testování stavu tlačítek a obslouží vnitřní časovač neaktivity. V případě aktivace tlačítka je tato událost zaznamenána a po zpracování se pošle povel všem modulům celoplošně prostřednictvím sítě IQRF. Jestliže není stisknuté žádné tlačítko, program zvýší čítač neaktivity a po dosažení doby přibližně 20 minut pošle stavové hlášení, které je tentokrát adresováno pouze řídicí jednotce. Při každém odesílání dat, je do datového rámce vložen údaj o teplotě modulu, stavu napájení a specifikace povelu. Po odeslání datového rámce se program dostane na začátek smyčky a opět se uvede do stavu nízké spotřeby.



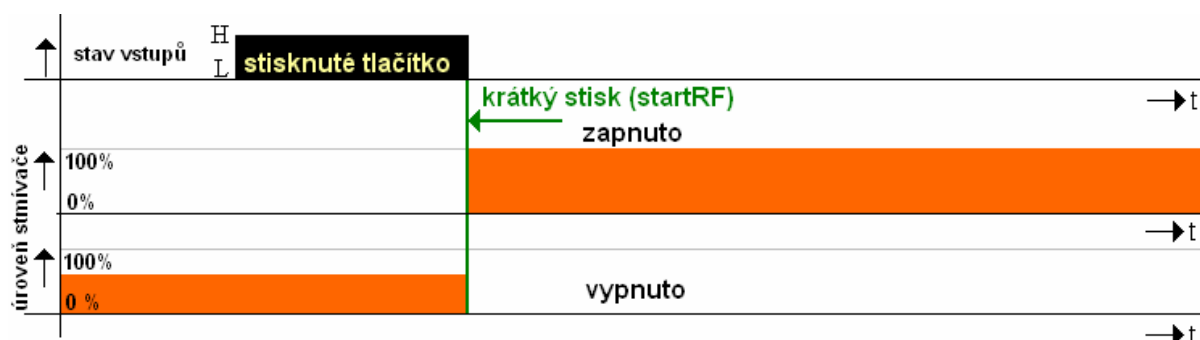
Obr. 50: Časové průběhy pro stmívač

Protože každý vstupní modul dokáže přepínat výstupní modul a zároveň dokáže ovládat jeho stmívač, musí být provedeno rozlišení této obsluhy. Na obrázku 50 jsou znázorněny délky stisku tlačítka, které jsou hraniční mezi ovládáním nespojitým (překlápění stavů) a ovládáním částečně spojitým (ovládání stmívače). Stisknutím tlačítka delším než 2 s, přepne se ovládání skokem a spustí se stmívač. Ten se rozbíhá vždy z maximální nebo z minimální hodnoty. Toto platí i v případě, že dosavadní stav měl hodnotu někde mezi těmito krajními hodnotami. Stmívání z maxima nebo i z minima trvá po dobu 16 s. Každých 80 ms se zvyšuje úsek posunutí fáze sepnutí. Úseků mezi minimem a maximem je 200 ($200 \times 32 \mu s = 6,4 \text{ ms}$). Odtud je vypočítána celková doba stmívání $T_{ST} = 16 \text{ s}$. Stmívání je sice poněkud zdlouhavější, ale vzhledem k časovému posunu celého komunikačního řetězce, je to optimální a dobře ovladatelná doba.



Obr. 51: Časové průběhy pro dlouhý stisk

Jestliže program *IN_EXP* zaregistruje stisknuté tlačítko, spustí časovač. Pokud je tlačítko drženo i po době stisku 2 s, program vyšle povel: **dlouhý stisk**. Na příslušném výstupu se přepne stav a spustí se časovač stmívání (nebo rozsvěcení). Uživatel uvolněním tlačítka dá pokyn k vyslání povelu: **konec stisku**. Příslušný výstup zůstane na hodnotě, ve které se nacházel v okamžiku příjmu tohoto povelu. Na obrázku 51 je znázorněn průběh obsluhy dlouhého stisknutí. Jestliže uživatel drží tlačítko stisknuté delší dobu než je doba stmívání, příslušný výstup dojde ke své hraniční hodnotě a zůstane buď sepnutý, nebo vypnutý. Po uvolnění tlačítka a vyslání RF povelu, se program opět uvede do stavu spánku.



Obr. 52: Časový průběh pro krátký stisk

Pokud uživatel stiskne tlačítko po dobu kratší než 2 s, pak se po jeho uvolnění vyšle bezdrátový povel: **krátký stisk**. Na ten může příslušný výstupní modul zareagovat tak, že přepne stav - tedy buď provede zapnutí (100 %) nebo vypnutí (0 %). K tomuto přepnutí dojde i v případě, kdy stav výstupu nebyl pouze zapnutý nebo vypnutý, ale podle logiky:

- pokud je výstup jakkoliv málo sepnutý, při povelu **krátký stisk** se vypne,
- pokud je úplně vypnutý, maximálně se sepne.

Časový průběh pro krátký stisk je na obrázku 52.

Program je napsán v jazyce C, je zkompileován překladačem CC5X, a celý se instaluje do modulu TR-52BA. Snímání stavu tlačítek a také nabíjení je realizováno prostřednictvím konektoru microUSB. Pro případ vstupního modulu je vytvořena šňůra s konektorem

microUSB, která je vybavena zvedacími odpory a nadstavena třemi vodiči pro připojení dvou tlačítek (INA, INB, GND).

3.6.5 Program výstupního expandéru

Řízení výstupního expandéru je realizováno dvěma programy. Program *OUT-EXP* je instalován do modulu TR-52BA a program *OutModul2* pracuje v modulu OM2. Zatímco program *OUT-EXP* zajišťuje příjem a vysílání dat bezdrátové sítě IQRF, program *OutModul2* ovládá výstupy expandéru. Modul TR-52BA s programem *OUT-EXP* je propojen k procesoru PIC16F690 v modulu OM2 s programem *OutModul2* prostřednictvím sběrnice SPI.

Program OUT-EXP

Úvodní část programu obsluhujícího výstupní expandér je podobná s programem pro vstupní expandér. Po zapnutí modulu je opět řešena možnost připojení k síti IQRF. Navíc je zde provedeno namapování informací z paměti EEPROM do paměti RAM. Jedná se o datová pole, ve kterých jsou uloženy adresy vstupních modulů a čísla jejich vstupů. Před vstupem do hlavní smyčky programu je odeslána úvodní zpráva řídicí jednotce.

Po úvodní sekvenci, se program vnoří do nekonečné smyčky, kde jeho úkolem je příjem bezdrátových datových rámců, zpracování přijatých dat a dotaz na příjem dat ze sběrnice SPI.

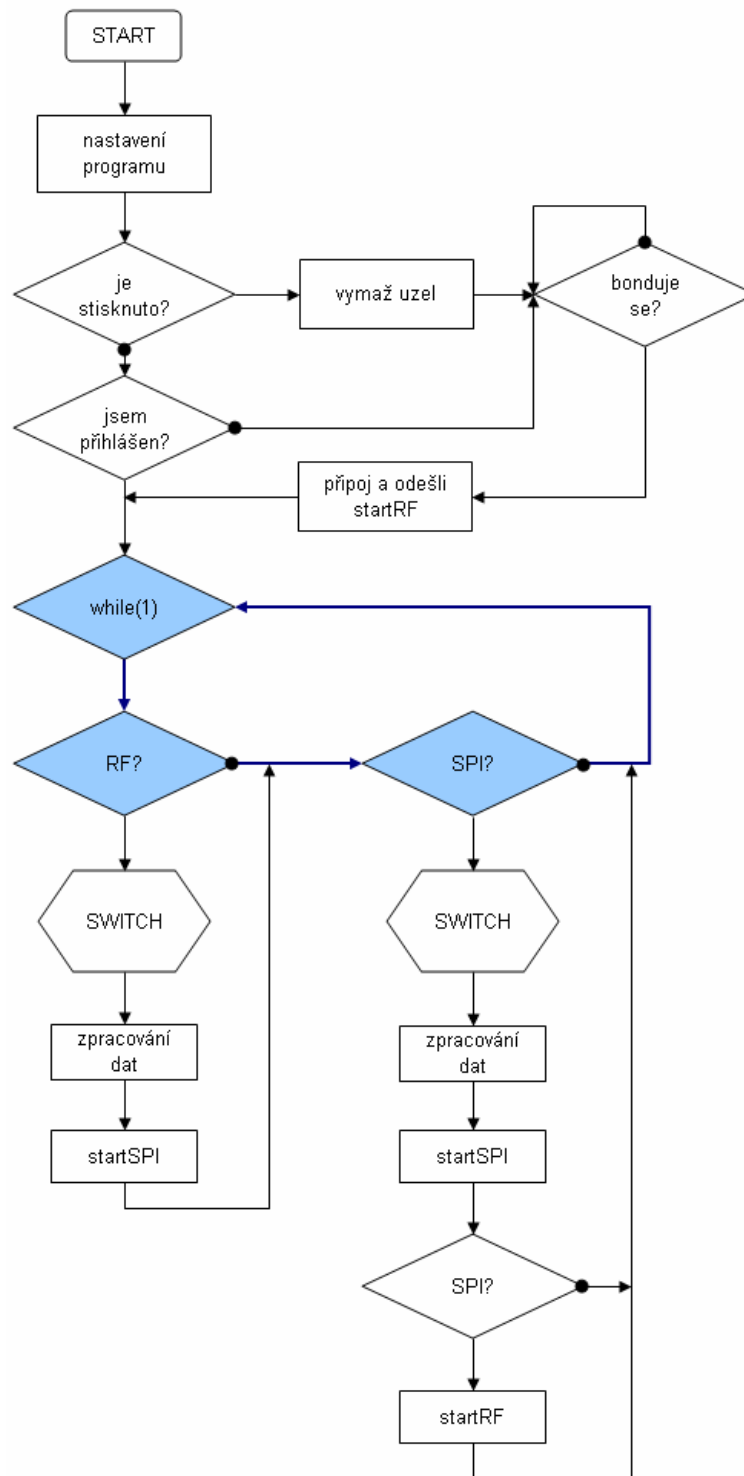
Z prostředí sítě IQRF jsou získány tyto povely:

- ovládací povely z počítače,
- ovládací povely ze vstupních modulů,
- povely pro vymazání modulu ze sítě,
- povely pro lokalizaci,
- programovací povely z počítače,
- dotaz na stav expandéru,
- stavové hlášení.

Povely ze sběrnice SPI, pomocí níž komunikuje procesor PIC16F690 v modulu OM2 a operační systém v modulu TR-52BA, jsou tyto:

- příkaz k bliknutí,
- hlášení stavu výstupů,
- příkazy k ovládání výstupů.

Na obrázku 53 je vývojový diagram programu *OUT-EXP*.



Obr. 53: Diagram programu pro výstupní expandér

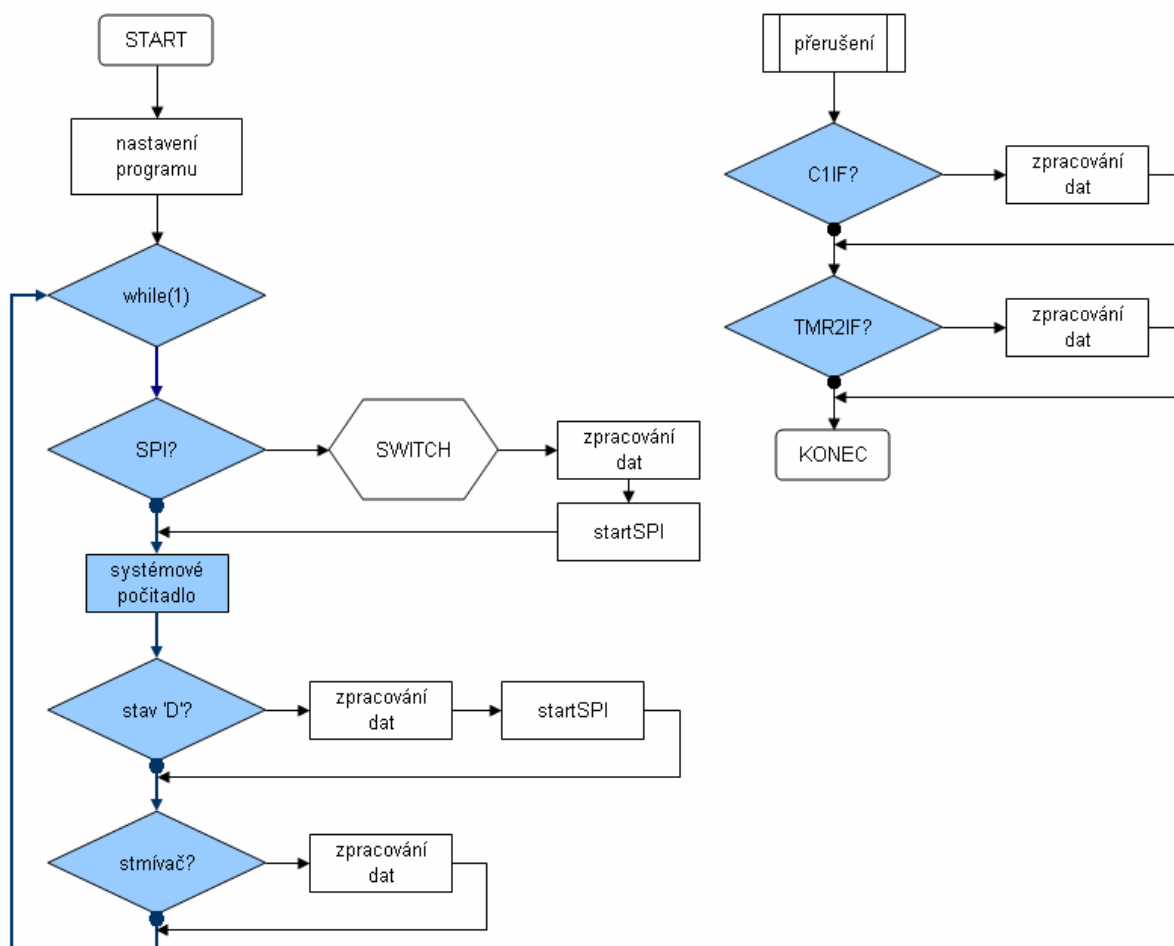
V nekonečné smyčce program cyklicky zpracovává data přijatá prostřednictvím sítě IQRf a data přijatá ze sběrnice SPI. Při příjmu bezdrátového datového rámce program porovnává jak rozlišení příkazu tak i shodu adresy vysílače se spínacím profilem. Pokud data vyhodnotí jako příkaz k ovládání modulu, pošle prostřednictvím sběrnice SPI povel do programu *OutModul2*. Jestliže program obdrží data přicházející ze sběrnice SPI, vyhodnotí je a provede

patřičnou odezvu. V případě povelu o stavovém hlášení, program zjistí teplotu modulu a spolu s informací o stavu na výstupech, posílá datový rámec prostřednictvím sítě IQRF do řídicí jednotky.

Program je napsán v jazyce C a je zkompileován překladačem CC5X. Program se instaluje do modulu TR-52BA prostřednictvím aplikace *IQRF_IDE*. Modul TR-52BA je součástí výstupního expandéru s označením OM2.

Program OutModul2

Program *OutModul2* instalovaný v procesoru PIC16F690, má za úkol spínat vstupy, řídit vnitřní časovače a popřípadě měřit proud. Struktura programu je nakreslena na obrázku 54. Program lze dělit na dva celky, jeden z nich je volně běžící smyčka, která je vždy na začátku blokována a spuštěna po dosažení doby periody $T = 10$ ms. Tato doba je doporučena výrobcem jako vhodná pro pravidelné dotazy stavu od nadřazeného komunikačního bloku. Druhý celek je tvořen bloky obsluhující přerušení mikrokontroléru.



Obr. 54: Diagram programu OutModul2

Systém SPI pracující pod operačním systémem IQRF není oboustranný. Jedná se o stavový automat, jehož provoz je řízen vždy pouze jedním z komunikujících prvků - masterem. Ten řídí hodinové pulsy a tím posouvá data ze svého výstupního zásobníku na sběrnici. Zároveň po druhé lince data přijímá ze sběrnice a vkládá je do svého vstupního zásobníku. Pokud podřízený prvek - slave, potřebuje poslat data na sběrnici, oznámí to nadřízenému prvku speciální odpovědí na kontrolní dotaz probíhající každých 10 ms. Master zahájí komunikaci při níž přijme požadovaný počet datových bajtů. Komunikace tedy vypadá tak, že nadřízený prvek posílá každých 10 ms na sběrnici dotaz o hodnotě 0x00, a podřízený prvek odpovídá. Pokud odpoví znakem o hodnotě 0x80, je vše v pořádku a nic není nachystáno k odeslání. Podle typu odpovědi rozpozná master všechny stavy svého podřízeného uzlu. Komunikační protokol je podrobně popsán v [3].

V hlavní smyčce programu se nejprve vyšle kontrolní dotaz na sběrnici SPI a popřípadě se provede vyčtení sběrnice. Následně je zvětšeno systémové počítadlo, které se stará o zasílání pravidelných hlášení informujících o stavu modulu. Následně potom je řešeno případné zasílání stavového hlášení. Rozpoznání nutnosti obsluhy této sekvence je zajištěno příznakovým bitem. V poslední části programu je řešena obsluha stmívače. Modul stmívače je opět spouštěn příznakovým bitem.

V části přerušení jsou obsluhovány dva podprogramy. První je spuštěn na základě porovnání průběhu fáze síťového napětí s nulovou hodnotou. Pokud síťové napětí prochází hodnotou blízkou nule, je spuštěno první přerušení. Zde se provede inicializace obsluhy časovače pro eventuelní spínání triaku, popřípadě pro měření uprostřed půlperiody. Druhé přerušení je vyvoláno od časovače právě na základě nastavení, které proběhlo při prvním přerušení. Zde je řešeno sepnutí příslušného výstupu, popřípadě sejmутí stavu napětí na výstupu operačního zesilovače. Protože se ovládají dva výstupy, může přerušení od časovače proběhnout dvakrát za půlperiodu.

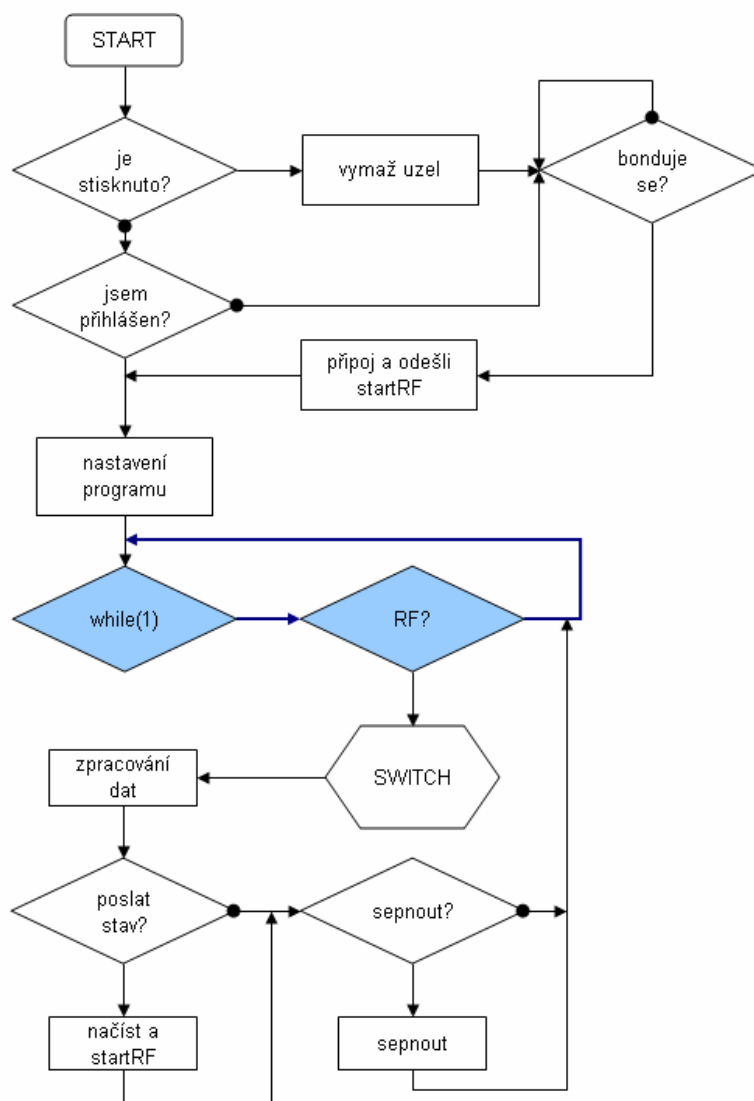
Program *OutModul2* je napsán v jazyce C a přeložen pomocí překladače CC5X.

3.6.6 Program zásuvkového modulu

Poslední část programového vybavení celého systému řízení osvětlení je tvořena programem *OUT-ZAS*. Tento program slouží k ovládání modulu pro spínání síťové zásuvky 230 V a je instalován v modulu TR-52BA. Jelikož tento program ovládá pouze stav zapnuto - vypnuto, není potřeba dalšího procesoru, který by řídil časování spínání a synchronizaci s průběhem napájení. Proto lze zásuvku ovládat přímo modulem TR-52BA. Výstupní piny modulu TR-52BA nejsou komunikační, ale digitální a pomocí tranzistorového spínače ovládají relé.

Vstupní sekvence programu je stejná jako u všech ostatních programů v modulech TR-52BA. Možnost odebrání ze sítě a možnost připojení k síti je provedeno, jestliže se při zapnutí

napájení propojí svorky JMP1. Pokud je modul přihlášen, provede se odeslání úvodní zprávy, která informuje řídicí jednotku o zapnutí příslušného uzlu. Následně nato program cykluje ve smyčce, ve které se dotazuje na příjem dat prostřednictvím bezdrátové komunikace. Pokud data přijme, porovná je se svým spínacím profilem a v případě shody vykoná obsluhu sepnutí či vypnutí výstupu. Zásuvkový modul má k dispozici pouze jeden výstup. Příkaz sepnutí druhého výstupu je ignorován. Na obrázku 55 je znázorněn vývojový diagram pro výše popsany program.



Obr. 55: Diagram programu OUT-ZAS

Program *OUT-ZAS* je napsán v jazyce C a je opět zkompileován překladačem CC5X a je vložen do zásuvkového modulu s označením OM1

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit bezdrátový systém řízení osvětlení pomocí komunikační platformy IQRF. Kromě obecného návrhu systému byly při řešení práce vytvořeny jednotlivé moduly a jejich programové vybavení. Z hlediska obvodového řešení byly vytvořeny dva výstupní moduly a jeden vstupní modul byl upraven pro potřeby systému. Pro obsluhu všech modulů bylo vytvořeno šest programů, které ovládají všechny části systému. Hlavní obslužný program byl napsán v jazyce C++ a vytvořen v prostředí C++builder. Čtyři programy byly vytvořeny v jazyce C, sloužící pro instalaci do modulů IQRF TR-52BA. Jeden program byl vytvořen opět v jazyce C, který slouží pro obsluhu mikrokontroléru PIC16F690.

Při řešení práce bylo navrženo a následně vytvořeno ovládání světel z více míst a naopak více světel spínat z jednoho bodu. Všechny výstupy ovládané vstupními tlačítky, lze ovládat také prostřednictvím programu v počítači. Počítač navíc disponuje diagnostickými možnostmi jako je podrobný výpis komunikace do textového okna s možností jeho uložení do souboru. Program rovněž zapisuje veškeré provozní stavy, povely a poruchy do textového okna a kromě možnosti uložení provozních logů do souboru umožňuje jejich filtrování podle druhu, nebo podle skupiny událostí.

Provoz systému je úplný a umožňuje řízení osvětlení a zásuvek, ale samozřejmě nabízí i možnost dalšího rozšíření a přidání dalších modulů do systému. Jedním z nich je například časování výstupů, měření účinníku na zapojeném výstupu (tato funkce je obvodově řešena) možnosti logických vazeb, atd. Systém řízení popsáný v této práci je první verze produktu. Bez dostatečného zkoušení provozu, ověřování možností programu a hledání dalších provozních a obslužných problémů, by určitě nebylo účelné nyní vytvářet rozsáhlejší program. Stejně jako u ostatních výrobků se další možnosti (hlavně programové) přidávají prostřednictvím firmwarů, kterých postupem času přibývá podle programátorských zkušeností, ale i uživatelských ohlasů. Ani jedno z obou uvedených není v tuto chvíli k dispozici, proto výsledkem této diplomové práce je plně funkční program, který splňuje základní požadavky, některé požadavky dokonce převyšuje, ale především představuje základ pro další rozvoj a rozšíření stávajících funkcí.

Zadání diplomové práce bylo beze zbytku splněno. Vytvořený systém je funkční, dokáže ovládat spínání i stmívání světel a dokáže spínat zásuvkové moduly. Celý systém v souladu se zadáním lze ovládat a programovat pomocí počítače. Ten dokáže zaznamenávat provoz systému a zaznamenaná data uložit do souboru, popřípadě dále zpracovávat. Součástí této práce jsou vytvořené moduly, které dokáží měřit hodnotu procházejícího proudu, hodnoty změřeného proudu dále matematicky upravit a tuto informaci předat uživateli. Schopnost výstupních expandérů měřit velikost procházejícího proudu na svých výstupech a to jak maximální tak i efektivní hodnotu i v neharmonickém průběhu, je mimo rámec zadání.

5 Seznam použité literatury

- [1] LEVEK, V. *Bezdrátový systém pro řízení osvětlení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 17s. Vedoucí semestrální práce Ing. Radek Kuchta Ph.D.
- [2] MICRORISC s.r.o. *IQRF Brochure* [online] 2010 [cit. 15. prosince 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [3] MICRORISC s.r.o.. *IQRF OS Operating System version 2.11 for TR-52B and TR-53B User's Guide* [online] 2010 [cit. 15. prosince 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [4] MICRORISC s.r.o.. *TR-52B Transceiver Module Data Sheet* [online] 2010 [cit. 15. prosince 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [5] MICRORISC s.r.o.. *CK-USB-02 IQRF Development Kit User's Manual* [online] 2009 [cit. 2. listopad 2009] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [6] MICRORISC s.r.o.. *DK-EVAL03 Development Kit User's Guide* [online] 2010 [cit. 15. prosince 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [7] MICRORISC s.r.o.. *IQRF OS version 2.11 Reference Guide* [online] 2010 [cit. 15. prosince 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [8] B Knudsen Data. *CC5X C Compiler for the PICmicro Devices User's Manual* [online] 2009 [cit. 2. listopad 2009] Dostupný z WWW: <http://www.bknd.com>.
- [9] MICROCHIP. *PIC16F882/883/884/886 Data Sheet* [online] 2009 [cit. 2. únor 2010] Dostupný z WWW: <http://www.iqrf.org>.
- [10] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C : 1. díl*. IV. přepracované vydání. České Budějovice : Kopp, 2006. 271 s. ISBN 80-7232-220-6.
- [11] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C : 2. díl*. České Budějovice : Kopp, 2008. 165 s. ISBN 978-80-7232-367-8.
- [12] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. 2. dotisk 1. českého vydání. Praha : BEN, 2009. 280 s. ISBN 80-7300-077-6, EAN 9788073000776.
- [13] KADLEC, Václav. *Učíme se programovat v Borland C++ Builder a jazyce C++*. Vydání druhé. Brno : Computer Press, 2004. 385 s. ISBN 80-7226-550-4.
- [14] LÁNÍČEK, Robert. *ELEKTRONIKA obvody součástky děje*. 1. vydání. Praha : BEN, 1998. 479 s. ISBN 80-86056-25-2.
- [15] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky 5. díl : Operační zesilovače a komparátory*. 1. vydání. Praha : BEN, 2007. 232 s. ISBN 978-80-7300-187-2.
- [16] BRANČÍK, Lubomír. *Elektrotechnika 1*. Skriptum VUT v Brně, 2005.
- [17] MAGAZÍN:INTELIGENTNÍ DŮM. *Co je to inteligentní dům?* [online] 2009 [cit. 5. ledna 2011] Dostupný z WWW: <http://www.itdum.cz/co-je-inteligentni-dum.html>.
- [18] VALEŠ, Miroslav. *Inteligentní dům*. 2. vydání. Brno : Vydavatelství ERA, 2006. 123 s. ISBN 80-7366-062-8.